



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

**BLUEPATH: SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO
INDOOR**

Raul Silverio Mittelstadt

Lajeado, novembro 2018

Raul Silverio Mittelstadt

BLUEPATH: SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO INDOOR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade do Vale do Taquari como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia da Computação.

ORIENTADOR: Fabrício Pretto

Lajeado, 2018

RESUMO

Localizar-se atualmente tornou-se um desafio a ser enfrentado. Com o desenvolvimento das cidades, a quantidade de rotas e lugares aumentou consideravelmente. Para suprir essa necessidade de chegar em lugares desconhecidos ou a melhor rota a seguir, surgiu o GPS que se tornou popular rapidamente, devido a sua grande efetividade e quantidade de ferramentas. No entanto, o GPS tem suas limitações no que diz respeito à precisão, o que inviabiliza sua utilização em ambientes internos. Neste sentido este trabalho apresenta a proposta de criação de um aplicativo de localização *indoor*, para localização de uma pessoa dentro de um ambiente fechado. Para atingir tal objetivo, foram distribuídos transmissores Bluetooth em um ambiente interno, para que o aplicativo consiga por meio dos transmissores determinar a localização. Para determinar a localização, foram utilizadas técnicas de meios de orientação como: RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) e ToA (*Time of Arrival*). Um estudo detalhado das tecnologias e técnicas envolvidas, contemplam o escopo deste trabalho. Com os resultados obtidos foi possível determinar a localização do *smartphone* em um ambiente interno.

Palavras-Chave: Localização indoor, GPS, Tecnologia, Técnicas

ABSTRACT

Locating yourself today has become a challenge to be faced. With the development of cities, the number of routes and places has increased considerably. To meet this need to arrive in unfamiliar places or the best route to follow, there arose the GPS that became popular quickly due to its great effectiveness and quantity of tools. However, GPS has its limitations with regard to accuracy, which makes it impossible to use indoors. In this sense, this work presents the proposal of creating an indoor location application, for locating a person within a closed environment. To achieve this goal, Bluetooth transmitters have been deployed in an internal environment so that the application can communicate through the transmitters to determine the location. In order to determine the location, we used the following techniques: RSSI (Received Signal Strength Indicator) and ToA (Time of Arrival). A detailed study of the technologies and techniques involved, contemplate the scope of this work. With the results obtained it was possible to determine the location of the smartphone in an internal environment.

Keywords: Indoor location, GPS, Technology, Techniques

Lista de Figuras

Figura 1: Crescimento das tecnologias sem fio	2
Figura 2: Técnicas de detecção de Posição	7
Figura 3: Técnica de triangulação(Latência)	8
Figura 4: Técnica de angulação	10
Figura 5: Distância x RSSI Fonte: Reck (2016)	11
Figura 6: Subáreas do ambiente	12
Figura 7: Demonstrativo das fases online e offline.....	13
Figura 8: Técnica de proximidade	14
Figura 9: Esquema de funcionamento do GPS	17
Figura 10: Itens contendo RFID.....	20
Figura 11: Comparativo e características entre as Tecnologias WiFi, ZigBee e RFID.....	21
Figura 12: Protocolos Bluetooth	23
Figura 13: Redes piconet.....	24
Figura 14: Redes scatternet	25
Figura 15: Visualização do aplicativo Proximi.io.....	29
Figura 16: Exemplo da interface usada pelo Access.....	30
Figura 17: Interface do software da Cisco	31
Figura 18: Exemplo de NodeMCU ESP32	34
Figura 19: Ambiente.....	36
Figura 20: Emissores Utilizados	37
Figura 21: Código utilizado nos Nodes.....	38
Figura 22: Tela do Aplicativo.....	39
Figura 23: Método da distância.....	40
Figura 24: Primeira parte do método de obtenção da localização	41
Figura 25: Segunda parte do método de obtenção da localização	42
Figura 26: Posição dos testes	43

Lista de tabelas

Tabela 1: Pacotes usados na conexão ACL	26
Tabela 2: Resultados dos Pontos	44

Lista de Quadros

Quadro 1: Comparativos de tecnologias GPS, Infravermelho, Ultrassom.....	6
Quadro 2: Comparativo entre as técnicas de localização	15
Quadro 3: Versões do padrão IEEE 802.11	18
Quadro 4: Alcance do Bluetooth por categoria	22
Quadro 5: Bluetooth Clássico x Bluetooth Low Energy	27

Lista de Abreviaturas

ACL	Asynchronous Connection-Less
AFH	Adaptive Frequency Hopping
AoA	Angle of Arrival
BLE	Bluetooth Low Energy
CRC	Cyclic Redundancy Check
DGPS	Differential Global Positioning System
DH	Data High rate
DM	Data Medium Rate
FEC	Forward Error Correction
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things
ISM	Industrial Scientific and Medical
RFID	Radio-Frequency Identification
RSSI	Received signal strength indicator
SCO	Synchronous Connection-Oriented
SDK	Software development kit
SIG	Special Interest Group
TDoA	Time Difference of Arrival
ToF	Time of Flight
UUID	Universally Unique Identifier

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Delimitação do tema.....	3
1.3 Justificativa.....	3
1.4 Estrutura do trabalho	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 Meios de Orientação.....	5
2.1.1 Categorias de Sistemas de Posicionamento.....	5
2.1.2 Técnicas para Detecção da Posição	6
2.1.2.1 Triangulação	7
2.1.2.2 Análise de Cenas	10
2.1.2.3 Proximidade	13
2.1.2.4 Comparação das técnicas	14
2.2 Sistema de Localização	15
2.2.1 Localização Exterior – GPS	15
2.2.2 Localização Interna.....	17
2.2.2.1 Wi-Fi	17
2.2.2.2 ZigBee	18
2.2.2.3 RFID	18
2.2.2.4 Comparativo entre as Tecnologias	20
2.3 Bluetooth	21
2.3.1 Características.....	22
2.3.2 Protocolos	23
2.3.3 Topologia	23
2.3.4 Conexões Bluetooth.....	25
2.3.4.1 Conexões Assíncronas	25
2.3.4.2 Conexões Síncronas	26
3 TRABALHOS RELACIONADOS.....	28
3.1 Proximi.io.....	28
3.2 Access.....	29
3.3 Cisco Wi-Fi Location Services.....	30
4 METODOLOGIA	32
4.1 Tipo de Pesquisa.....	32
4.3 Materiais.....	33
5 DESCRITIVO DO SISTEMA	35
5.1 Visão geral	35
5.2 Ambiente	35
5.3 Requisitos do sistema	36

5.4 Emissores	37
5.5 Aplicativo Android	38
5.6 Testes.....	42
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da humanidade, a localização se tornou uma preocupação constante, as razões podem ser as mais diversas como econômicas ou pessoais. A tecnologia que mais se popularizou na questão de localização foi o GPS. Essa tecnologia revolucionou a área de localização, possibilitando a criação de diversos aplicativos com as mais variadas serventias, como localização de pessoas e veículos, recursos de jogos, entre outros. Segundo Soares (2015), existem alguns cenários que o GPS não pode atuar por não haver uma precisão aceitável. Ele relata que em lugares fechados ou em lugares subterrâneos o GPS não funciona corretamente, e para estes cenários mencionados devemos buscar alternativas de localização.

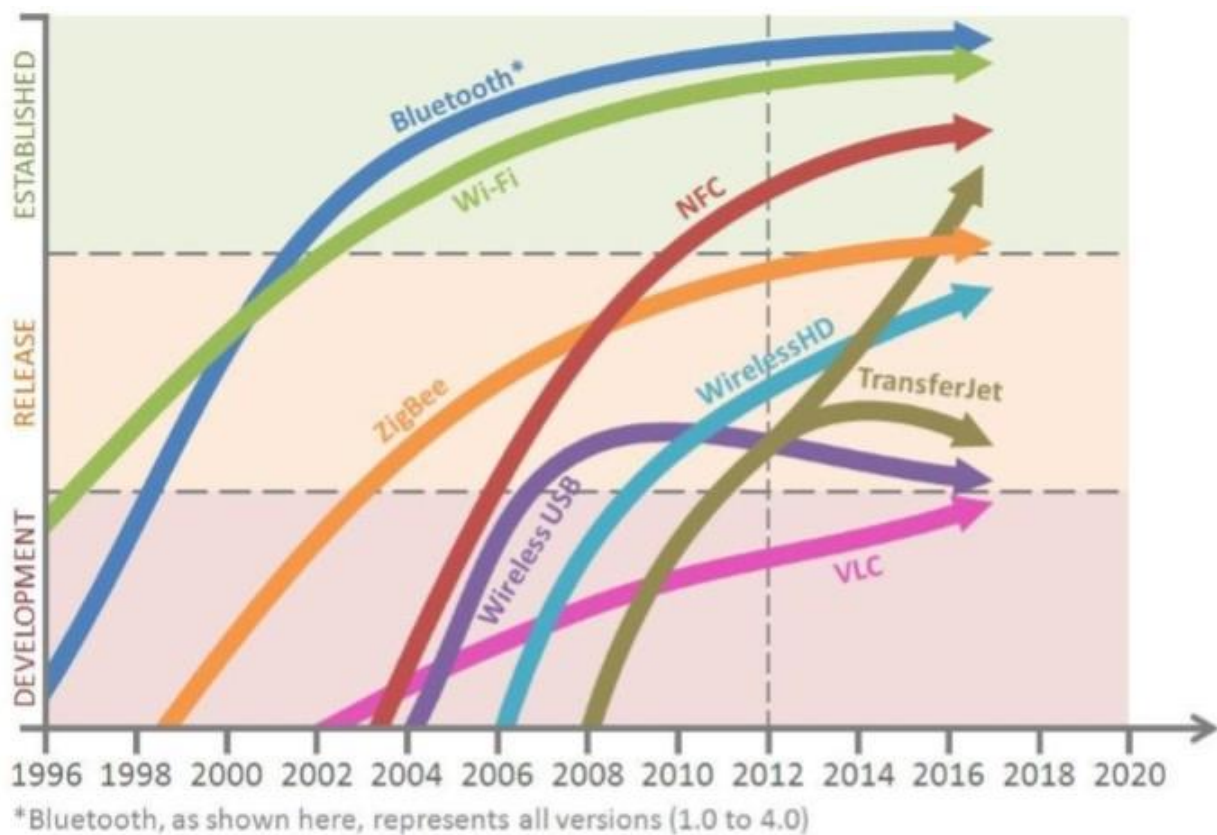
Moura (2007) diz que o GPS é o sistema de localização mais conhecido, pois oferece uma geolocalização que cobre toda a superfície do globo e que sua estimativa de erro é de no máximo 10 metros em áreas abertas. Ele informa que esse erro pode ser ainda mais diminuído, podendo chegar a centímetros de distância, essa técnica se chama DGPS (Differential Global Positioning System, em português Diferencial do Sistema de Posicionamento Global). Para chegar nesta exatidão, o sistema utiliza uma rede de estações fixas na terra em conjunto com os satélites que orbitam a terra. As estações transmitem a diferença de tempo de chegada de uma informação. Como as posições das estações são conhecidas, através de cálculos sobre essa diferença pode-se determinar com exatidão a posição final.

Mas o desafio não é somente se localizar em ambiente abertos, mas também em ambientes fechados, como andares de prédios, tuneis, salas ou auditórios. Nestes espaços, como mencionado anteriormente, o uso do GPS não é eficiente, por esse motivo

foi necessário investir em novas tecnologias que pudessem atender essa demanda. Segundo Filho (2016), foram desenvolvidas técnicas de posicionamento *indoor* que utilizavam tecnologias sem fio já existentes no mercado, como Wireless, RFID, Infravermelho e Bluetooth. Algumas das técnicas utilizadas para localização *indoor* são ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival) e RSS (Received Signal Strength).

Conforme o entendimento de Reck (2016), na atualidade existem muitas aplicações que necessitam da posição exata do aparelho, inclusive em ambientes internos. Para prover melhor localização interna, existem algumas tecnologias que podem ser utilizadas, em particular Bluetooth 4.0 se destaca. O autor explica que por este dispositivo consumir pouca energia e haver vários aparelhos novos saindo de fábrica com compatibilidade, essa tecnologia se torna muito atrativa e vantajosa. A Figura 1 mostra o crescimento das tecnologias sem fio dos últimos 20 anos, as áreas retangulares que estão na horizontal retratam: desenvolvimento, lançamento e estabilização.

Figura 1: Crescimento das tecnologias sem fio



Com o crescimento que a tecnologia Bluetooth teve nos últimos anos, ela vem sendo utilizada e muito para aplicações *indoor*, pois se tornaram viáveis, mas, ainda assim, desafiadoras. A tecnologia oferece as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de uma aplicação de localização, mas a execução das técnicas podem ser trabalhosas, no entanto, o resultado geralmente é satisfatório.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho, consiste em criar uma solução em geolocalização em ambientes *indoor* utilizando tecnologias já existentes no mercado, que possibilite determinar a localização em ambientes fechados por meio da tecnologia de Bluetooth.

1.1.1 Objetivos específicos

São designados como objetivos específicos:

- Adquirir e documentar o conhecimento das tecnologias envolvidas no trabalho.
- Revisar as técnicas de localização para melhor executar o presente trabalho.
- Montar o hardware para a emissão do sinal de rádio frequência.
- Desenvolver um aplicativo para Android que receba o sinal do Bluetooth e possibilite determinar a localização no ambiente escolhido.
- Validar a solução desenvolvida em laboratório

1.2 Delimitação do tema

O presente trabalho irá se restringir na montagem do hardware para a emissão do sinal Bluetooth, criação de um aplicativo para Android que fará a comunicação e determinará a localização no ambiente. O aplicativo apresenta a localização mais exata possível.

1.3 Justificativa

O trabalho busca uma forma eficiente e de baixo custo para se localizar dentro de ambientes *indoor*, pois as soluções atuais do mercado não oferecem essa condição. Devido a isso, o trabalho se propõe a pesquisar como fazer da melhor maneira possível,

buscando um sistema eficiente, com custo acessível para localização em ambientes internos.

1.4 Estrutura do trabalho

O presente trabalho tem a estrutura de cinco capítulos. O primeiro consiste na Introdução sobre localização em ambientes internos e externos. O segundo capítulo apresenta as principais tecnologias utilizadas para localizar-se. O terceiro capítulo mostra algumas soluções já existentes no mercado em localização *indoor*. A Metodologia de desenvolvimento é exposta no Capítulo 4, seguido pela descrição do aplicativo no Capítulo 5, e por fim as considerações finais no Capítulo 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada uma revisão das características e tecnologias que são utilizadas para o tema do trabalho escolhido. Segundo Lakatos e Marconi (2010), o referencial teórico é a onde podemos verificar as adversidades do tema pesquisado, utilizando as experiências de estudos e pesquisas anteriores. Lakatos e Marconi(2010) relatam que o referencial teórico é o que possibilita o trabalho estar fundamentado em fatos já documentados, dando consistência ao estudo apresentado. Tem a principal função de direcionar a pesquisa, apresentando uma sustentação na literatura que já existe e que está publicada sobre o tema escolhido.

2.1 Meios de Orientação

Nesta seção será explicado sobre as formas de localização dentro de ambientes internos, utilizando alguns algoritmos e técnicas para localizar um dispositivo, como, por exemplo um *smartphones*.

2.1.1 Categorias de Sistemas de Posicionamento

Os sistemas de posicionamento podem ser divididos em 4 tipos, são eles: GPS, Infravermelho, Rádio e Ultrassom. Para localização em ambientes externos se adotou como padrão o GPS, pois foi um sistema bem-sucedido. No entanto, o GPS não funciona da mesma maneira em ambientes fechados, pois sua precisão pode não ser exata, fazendo com que esta tecnologia seja ineficaz para este tipo de aplicação.

Segundo a compreensão Farid, Nordin e Ismail (2013) uma tecnologia que pode ser utilizada em ambientes internos é o infravermelho. Ela pode ser utilizada para

detecção de objetos que são estáticos ou móveis. Essa tecnologia está embutida em vários dispositivos móveis, TVs e sua utilização é relativamente fácil. A desvantagem são questões como a limitação em determinar a localização, privacidade e segurança. O infravermelho ainda sofre muito com interferência da luz de lâmpadas assim como a luz solar. Seu hardware também tem um alto investimento, o que torna a tecnologia menos atraente para essa aplicação.

As tecnologias baseadas em ultrassom não são fáceis de implementar pois as ondas de som geralmente sofrem reflexão em objetos que estão dispostos no ambiente, o que torna complicado a determinação da posição.

Segundo Reck (2016) um ponto importante a considerar, é o erro médio esperado. A média de erro esperado é a distância que foi estimado pelo sistema e o ponto real. Analisando o Quadro 1, é possível verificar que o erro médio baseado em rádio frequência é o mais preciso dentre os demais. Enquanto o GPS e ultrassom apresentam números próximos a 10 metros, o infravermelho fica com aproximadamente 5 metros, e o sistema baseado em rádio frequência somente 1 a 3 metros de erro médio.

Quadro 1: Comparativos de tecnologias GPS, Infravermelho, Ultrassom

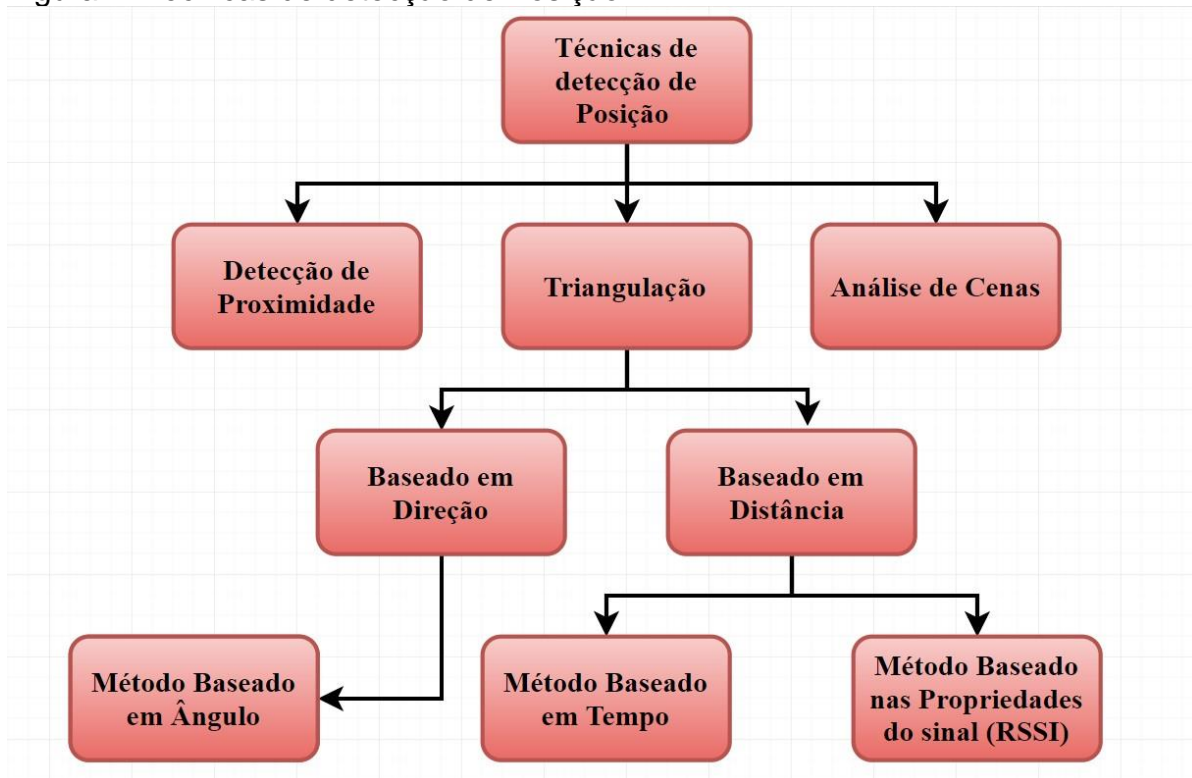
	GPS	Infravermelho	Ultrassom
Aplicável em ambientes internos	Não recomendável	Sim	Sim
Média de erro esperada	± 10 metros	± 5 metros	± 10 metros

Fonte: Reck (2016)

2.1.2 Técnicas para Detecção da Posição

Segundo Farid, Nordin e Ismail (2013), existem algumas formas de detectar a posição de um objeto ou pessoa. Elas são divididas em três tipos de acordo com suas particularidades. Na Figura 2 está ilustrado os tipos de técnicas, são elas: triangulação, análise de cena e proximidade.

Figura 2: Técnicas de detecção de Posição



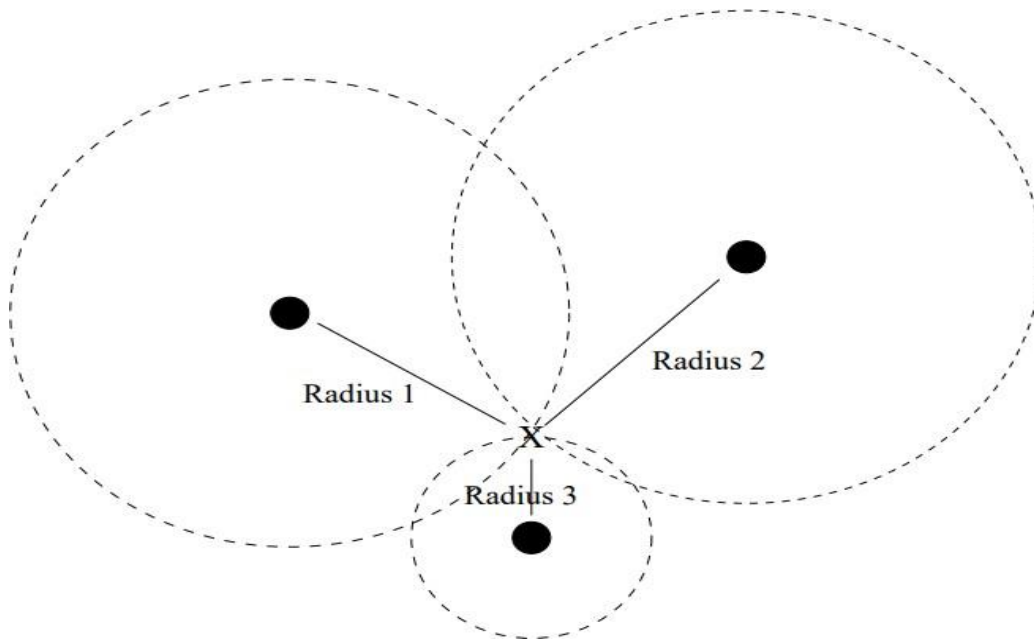
Fonte: Adaptado de Farid, Nordin e Ismail (2013)

2.1.2.1 Triangulação

A triangulação utiliza de cálculos geométricos para determinação da posição estimada do objeto. Ela pode ser dividida em duas categorias para a medida da distância: a latência e angulação.

Hightower e Borriello (2001) dizem que a técnica de latência calcula a posição do ponto estimado a partir do ponto atual para um ponto de referência, já conhecido. Esse tipo de cálculo necessita de pelo menos três pontos de referências como ilustrado na Figura 3. A posição pode ser determinada se o raio dos três círculos forem descobertos. A intersecção dos círculos é o que determina a localização do ponto.

Figura 3: Técnica de triangulação(Latência)



Fonte: Hightower e Borriello (2001)

As medições das distâncias utilizando a latência, podem seguir algumas abordagens. São elas:

- **Medição direta**

Conforme o entendimento de Hightower e Borriello (2001), a medição direta é feita a partir da movimentação do receptor que está em análise. Deve-se fazer a medição das distâncias entre o receptor e os pontos de referência. Esse método é difícil de implementar, pois existe uma grande complexidade neste método.

- **Tempo de chegada**

Hightower e Borriello (2001) dizem que esta técnica mede o tempo que é necessário para que o sinal saia do receptor e vá até o ponto de referência. A velocidade em que o sinal viaja deve ser conhecida para fazer o cálculo. Se o sinal viaja a uma velocidade de 300 m/s (metros por segundo), e ele for emitido pelo transmissor e retornar após 50 ms (milissegundos), é possível deduzir que o receptor está à 15 metros de distância do transmissor. Essa técnica também é chamada de ToF (Time of Flight), e ela depende do dispositivo escolhido para transmitir o sinal, pois sua velocidade de propagação pode ser diferente, podendo chegar em microssegundos. Os marcadores

deste tempo, devem ter uma precisão elevada para que a distância seja calculada corretamente e se aproxime o máximo possível do real.

- **Diferença entre os tempos de chegada**

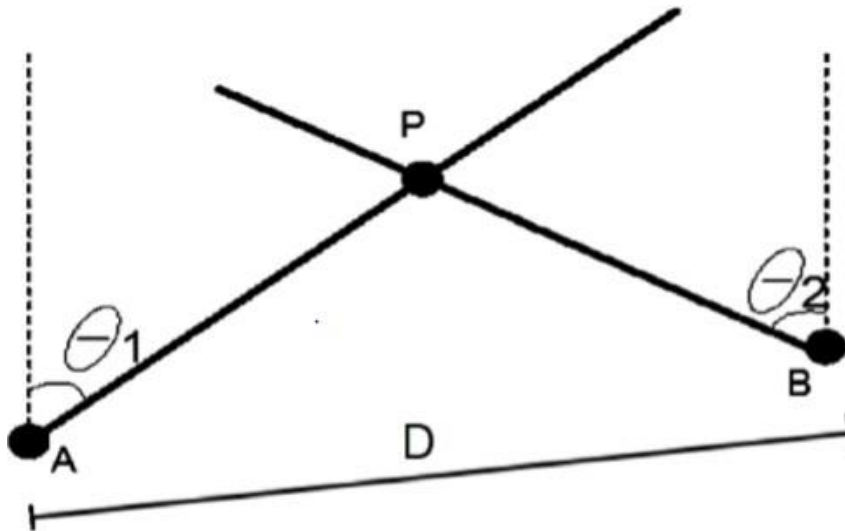
Conforme dizem Hightower e Borriello (2001), essa técnica é conhecida como TDoA (Time Difference of Arrival, em português Diferença de Tempo de Chegada), ela também é baseada em tempo de transmissão, mas ela é uma adaptação da técnica ToF. O dispositivo que deseja-se localizar recebe 3 sinais distintos de referências, então a diferença entre os tempos de chegada de cada um deles, são calculados. Para que esse método funcione, os transmissores devem estar perfeitamente sincronizados, pois se não estiverem, podem ocorrer erros nos cálculos da distância encontrado.

- **Atenuação**

Segundo Hightower e Borriello (2001), conforme a distância aumenta a intensidade do sinal recebido diminui. Então quando conhecemos a atenuação do sinal e o relacionamos com a distância podemos calcular a distância que o receptor está do emissor. Essa técnica é menos precisa que a ToF, pois a propagação do sinal pode ocasionar ruídos ou interferências, prejudicando o cálculo e causando imprecisão na definição da distância.

Conforme o entendimento de Hightower e Borriello (2001), a técnica da angulação é muito semelhante à da latência, mas a diferença está na utilização de ângulos para a determinação da posição. Deve-se considerar os ângulos que dois pontos de referência estão fazendo sobre a real posição do objeto a ser localizado. No espaço bidimensional é mais fácil de visualizar esta relação da angulação com a distância dos pontos, a Figura 4 está ilustrando essa técnica.

Figura 4: Técnica de angulação



Fonte: Reck (2016)

A técnica da angulação também é conhecida como AoA (Angle of Arrival, em português Ângulo de Chegada), ela mede o ângulo que chega nos pontos de referência, no caso nos pontos da A e B da Figura 4. Quando as distâncias dos pontos de referência passa a ser conhecida, mede-se os ângulos que elas formam. Uma vantagem desta técnica, é que não necessita nenhuma sincronização entre os pontos de referência. Uma das desvantagens é a utilização de hardwares mais complexos para a utilização deste sistema.

2.1.2.2 Análise de Cenas

Segundo Junior, Andreão e Nunes (2011) a análise de cenas também é conhecida como Fingerprinting. Essa técnica basea-se na intensidade do sinal que o receptor recebeu (RSSI). O RSSI é a quantidade de sinal que um dispositivo consegue captar de um transmissor. O sinal sempre é transmitido com uma potência base, e com o aumento da distância, o sinal tende a diminuir. Quando o sinal chega ao dispositivo receptor, ele chega atenuado, e pode ser medido com base na potência original do transmissor. Essa diferença entre a potência base e o sinal recebido pode ser calculado com a seguinte fórmula:

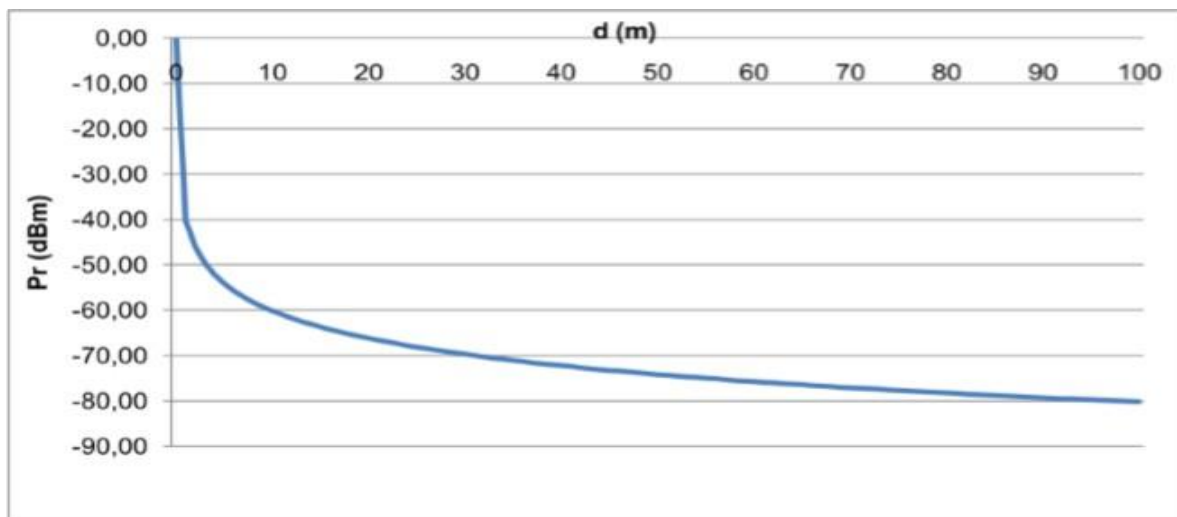
$$RSSI = - (10n \log (d) - Tx)$$

- **RSSI:** é o sinal que foi recebido pelo dispositivo;

- **n**: é a constante de propagação;
- **d**: é a distância em metros;
- **Tx**: é o valor base do transmissor, medido a 1 metro de distância dele;

Em um gráfico de distância x RSSI para um ambiente interno, onde a constante de propagação é igual a 2 e o valor-base do transmissor é 40, podemos perceber que conforme a distância aumenta o sinal diminui, como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Distância x RSSI

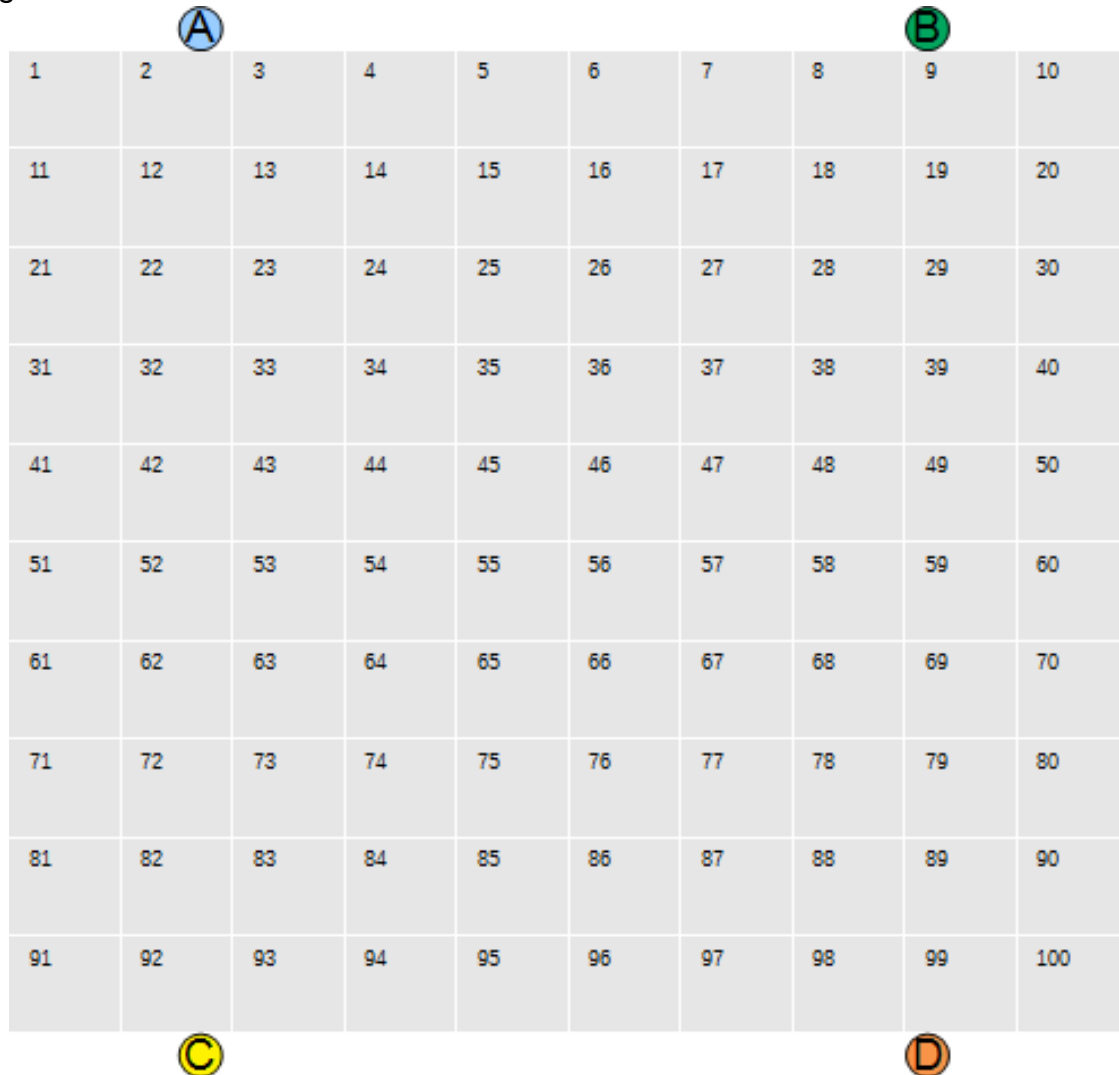


Fonte: Reck (2016)

A principal desvantagem deste método é a sua interferência, ruídos e vários caminhos que o sinal possui para chegar até o receptor. Esse tipo de problema pode causar imprecisão no cálculo da posição do dispositivo.

O Fingerprinting pode ser dividido em duas fases principais, a *offline* e a *online*. A fase *offline* é feita a captura dos sinais de RSSI dos diversos pontos do ambiente. Nesta etapa, é feito o levantamento da área total a ser mapeada, então essa área é subdividida em partes menores. Agora em cada uma destas áreas menores temos as coordenadas (x,y) e a intensidade do sinal que chega até elas. Se todas as subáreas forem mapeadas com a quantidade sinal recebido dos transmissores temos um mapa de Fingerprints. Por exemplo, uma área de 100 m², pode ser dividida em subáreas de 1 m², resultando em 100 subáreas de 1m x 1m (largura e comprimento), a Figura 6 está exemplificado este esquema.

Figura 6: Subáreas do ambiente



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

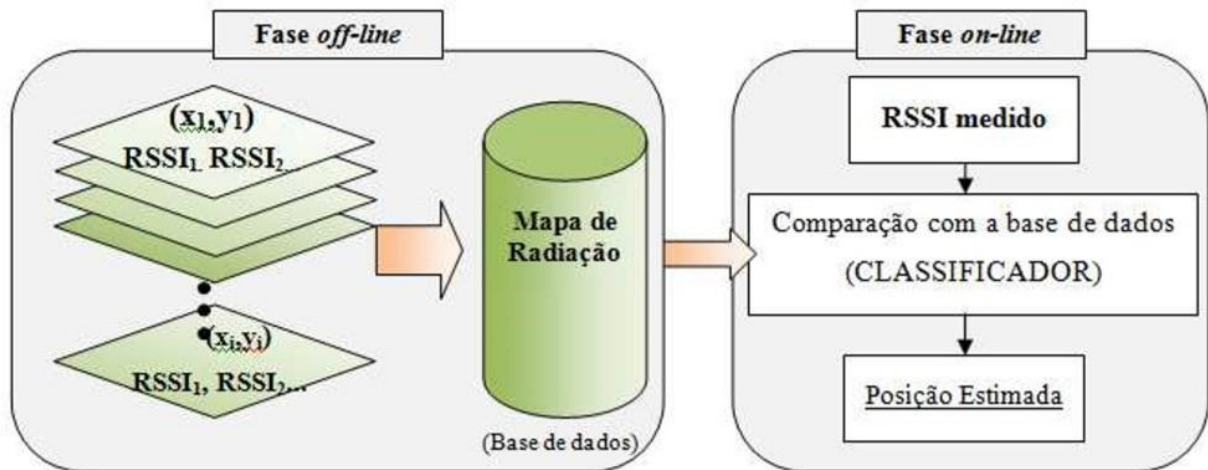
Fonte: Do Autor (2018)

Os pontos A, B, C e D da Figura 6, representam os transmissores dispostos pelo ambiente. Eles estão em pontos estratégicos para a maior cobertura de sinal, que será propagado no meio. Cada subárea será previamente cadastrada no banco de dados com sua coordenada e a quantidade de sinal obtido por todos os transmissores. Imaginando que se um dispositivo está localizado dentro desta área, receberia o sinal de todos os transmissores, interpretaria o sinal e verificaria no banco de dados as amostras cadastradas previamente, para saber qual mais se aproxima das amostras coletadas.

Conforme Junior, Andreão e Nunes (2011), na fase *online* é a onde os sinais e as coordenadas que foram captados pelo dispositivo a ser localizado, são comparadas com as informações do banco de dados. O dispositivo fica intermitentemente recebendo o sinal e as comparações são feitas a todo momento, pois o dispositivo pode estar se

movendo. Com o resultado destas comparações temos então a determinação de uma subárea e por consequência sua localização. Na Figura 7 está descrito e exemplificado as fases *offline* e *online*.

Figura 7: Demonstrativo das fases *online* e *offline*



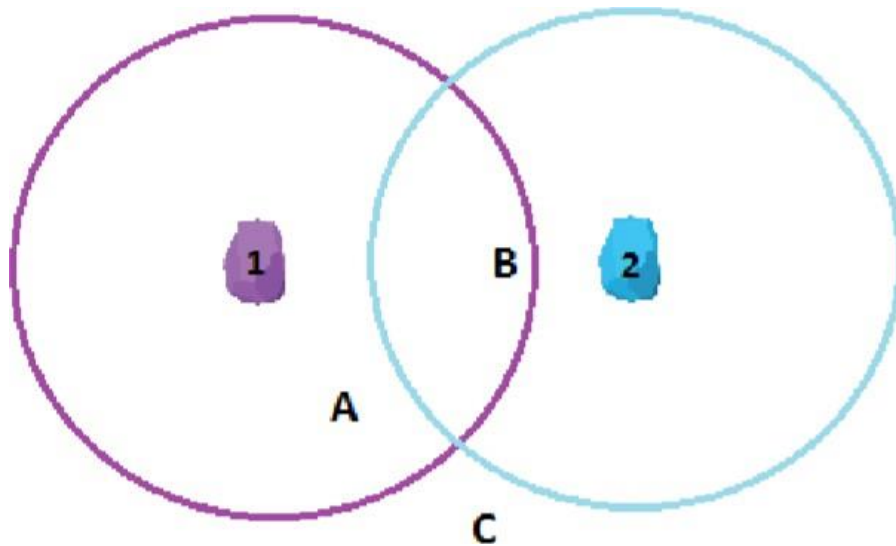
Fonte: Junior, Andreão e Nunes (2011)

A principal desvantagem desta técnica se concentra no ruído, dispersão e difração, que afetam diretamente no RSSI. Mas essa abordagem ainda se mostra vantajosa por não necessitar de muito investimento e por ela ser totalmente independente, não necessitando de uma máquina remota, já que todos os processos podem ser feitos no *smartphone* do usuário mesmo.

2.1.2.3 Proximidade

Essa técnica faz a determinação da posição de um dispositivo móvel, levando em consideração uma posição que já é conhecida. Ela reside na descoberta do transmissor, que já está cadastrado. Mas essa técnica não pode dizer a distância entre o transmissor e receptor, ela consegue dizer somente se um dispositivo está em um segmento ou não (Gu, Lo e Niemegeers, 2009). Se o sinal está sendo recebido somente por um transmissor, considera-se que o dispositivo está no segmento dele. Mas caso o receptor receba o sinal de 2 ou mais transmissores, considera-se que o receptor está no segmento onde o transmissor que tiver o sinal mais forte. Um exemplo desta técnica vemos na Figura 8, ela faz a ilustração de 3 pontos a serem localizados no ambiente, e mais 2 pontos que fazem a transmissão do sinal. As circunferências limitam o alcance máximo de cada transmissor.

Figura 8: Técnica de proximidade



Fonte: Reck (2016)

Na Figura 8, percebe-se que o receptor A, está somente no alcance do transmissor 1, então eles pertencem ao mesmo segmento. Mas notamos que o receptor B está dentro da área de alcance dos transmissores 1 e 2. Neste caso o receptor B está mais perto do transmissor 2, e portanto com o sinal mais forte.

Esse tipo de técnica é utilizada em aplicações em que não necessita-se saber a posição exata, onde precisamos saber somente onde se está. Um dos principais exemplos para a utilização desta técnica, é saber onde um cliente está dentro de uma loja, que pode ser separada por setores (cama, banho, vestuário, acessórios, entre outros). Neste caso não temos a necessidade de saber onde ele está exatamente, somente precisamos saber que ele está em determinado setor.

2.1.2.4 Comparação das técnicas

Reck (2016) faz uma comparação entre as tecnologias vistas até aqui, levando em consideração as características e particularidades de cada uma. O autor considerou alguns aspectos como técnica de medição, tipo de medição, precisão *indoor*, custo e outras. A comparação pode ser vista na Quadro 2.

Quadro 2: Comparativo entre as técnicas de localização

Técnica de Medição	Tipo de Medição	Precisão <i>indoor</i>	Cobertura	Afetada por multipercurso	Custo	Notas
Proximidade	Sinal	Pequena à alta	Boa	Não	Pequeno	- Precisão depende do número de dispositivos transmissores - Quanto maior a precisão, maior o custo
Direção (AoA)	Ângulo de chegada	Média	Boa (problemas com multipercurso)	Sim	Alto	- Precisão depende da propriedade angular das antenas - Localização da antena precisa ser especificada
Tempo (ToA, ToF, TDoA)	Diferença entre tempos de chegada	Alta	Boa (problemas com multipercurso)	Sim	Alto	- Necessária sincronização de tempo - Localização da antena não é necessária
Análise de Cenas (<i>Fingerprinting</i>)	Intensidade do Sinal Recebido (RSSI)	Alta	Boa	Não	Médio	- Precisa de calibração intensa - Localização da antena não é necessária

Fonte: Reck (2016)

2.2 Sistema de Localização

Chegar em determinados lugares pela primeira vez pode ser um desafio. Precisamos de referências e do endereço exato. A tecnologia neste ponto vem para facilitar e auxiliar na localização, em qual caminho tomar, tanto em externos como internos. Serão apresentadas algumas formas de se localizar nestes ambientes.

2.2.1 Localização Exterior – GPS

Conforme o entendimento de Abreu (2014) o GPS é o sistema de localização externo mais difundido atualmente, utilizado em todos os *smartphones* da atualidade, carros entre outros. O GPS pode ser chamado de NAVSTAR-GPS (NAVigation Satellite with Time And Ranging). Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Dos Estados Unidos da América com o intuito de localizar as tropas americanas, mas o sistema se mostrou tão eficiente e com uma grande precisão, que os dispositivos que continham o GPS evoluíram rapidamente.

Abreu (2014) relata que existem 24 satélites que orbitam a terra, esses satélites enviam sinais para um dispositivo receptor. Ele interpreta esse sinal, dizendo exatamente a sua posição. O GPS é capaz de dizer com precisão a posição geográfica, graças ao um relógio interno que tanto os satélites possuem como os dispositivos que contêm essa tecnologia. Este relógio é extremamente preciso, podendo registrar nanossegundos. O envio de sinais constantemente é feito pelo satélite, e assim determinando a posição e o deslocamento.

O GPS trabalha em 3 segmentos: espacial, estações e do utilizador. O segmento espacial são os 24 satélites que eles são distribuídos em 6 planos orbitais, sendo que em cada plano existem 4 satélites. Estes satélites estão a uma altitude de mais ou menos 20.200 km, e demoram cerca de 12 horas para orbitar totalmente o globo. Desta forma, sempre é garantido que no mínimo de 4 satélites estão em seu segmento, não importando sua localização.

O segmento das estações, é a parte que controla os satélites. Ele é responsável por controlar e monitorar a órbita deles de tempos em tempos, calcular algum tipo de correção nos relógios e atualizar alguma mensagem de navegação.

O segmento do utilizador são os receptores, mas podem ser divididos em duas categorias: a militar e para civis. Na categoria militar, pode auxiliar em deslocamentos de tropas, algum tipo de manobra em combate, realização de treinos entre outras aplicações para esta área. Já na categoria civil, é a onde a maioria das pessoas conhecem GPS. Utilizado para rotas comerciais, trajetórias, navegação de automóveis e outras utilizações (Abreu, 2014). Um resumo destes segmentos está descrito na Figura 9.

Figura 9: Esquema de funcionamento do GPS



Fonte: Abreu (2014)

2.2.2 Localização Interna

As tecnologias de localização interna (*indoor*), geralmente não utilizam fios, para prover uma maior aceitação pelos usuários, já que não seria conveniente sair andando com cabos para ter que se localizar em algum ambiente. Assim as tecnologias sem fios garantem mais conforto, comodidade e segurança. Existem algumas maneiras neste sentido para prover a localização em ambientes internos, em seguida algumas delas serão explicadas.

2.2.2.1 Wi-Fi

O Wireless Fidelity chamado geralmente de wi-fi, é usado para se referir a redes que trabalham em especificações IEEE 802.11. Esse padrão foi lançado em 1997 e proporcionava taxas de 1 a 2 Mbits utilizando a frequência de 2.4 MHz. Esse padrão opera em frequências de ISM (Industrial, Scientific and Medical), ou seja, não precisa estar licenciado para funcionar.

Conforme o entendimento de Filho (2016) existem variações do padrão 802.11, algumas delas são: 802.11a, 802.11b, 802.11g e 802.11n. Cada uma das versões têm suas particularidades de velocidades, frequências, alcance interno e externo (Filho, 2016). Elas estão descritas na Quadro 3.

Quadro 3: Versões do padrão IEEE 802.11

Protocolo	Frequência	Velocidade (típica)	Velocidade (normal)	Alcance interno aproximado	Alcance externo aproximado
802.11	2.4 GHz	0.9 Mbps	2 Mbps	20 Metros	100 Metros
802.11a	5 GHz	23 Mbps	54 Mbps	35 Metros	120 Metros
802.11b	2.4 GHz	4.3 Mbps	11 Mbps	38 Metros	140 Metros
802.11g	2.4 GHz	19 Mbps	54 Mbps	38 Metros	140 Metros
802.11n	2.4 GHz / 5 GHz	74 Mbps	248 Mbps	70 Metros	250 Metros

Fonte: Adaptado de Filho (2016)

Filho (2016) menciona que um fato que levou a tecnologia a ser aceita pelos usuários em localização *indoor*, é a grande quantidade de dispositivos que transmitem este sinal, tanto em lugares públicos como em privados. Mas para conseguir criar um sistema de localização *indoor* com wi-fi mais preciso, utiliza-se a planta baixa do local. Assim pode-se reduzir a distorção do sinal wi-fi, pelos materiais que podem existir no ambiente como eletrodomésticos, paredes ou obstáculos.

2.2.2.2 ZigBee

Abreu (2014) relata que o ZigBee é constituído por um conjunto de protocolos de comunicação que utiliza baixa taxa de dados e funciona com a conexão sem fio de curto alcance. Essa tecnologia foi criada por uma organização que não visa lucros, chamada ZigBee Alliance. Ela adotou o protocolo IEEE 802.15.4 como padrão para o ZigBee. Como o padrão desenvolvido é focado em baixa taxa de dados, então as aplicações que utilizam ela devem seguir na mesma linha. É uma tecnologia de baixo custo e consome pouca energia em seu funcionamento, sendo utilizada geralmente para fazer o monitoramento ou automatização de casas, mas pode ser utilizada para localização *indoor*.

O ZigBee utiliza a frequência de rádio, que permite criar um sistema para localização de dispositivos em ambientes *indoor*. Para descobrir a localização de um objeto ou dispositivo com essa tecnologia, deve-se saber a posição dos emissores espalhados pelo ambiente. Os emissores irão se comunicar entre si para determinar a posição de cada um, e posteriormente detectar a posição do receptor no ambiente (Abreu, 2014).

2.2.2.3 RFID

Segundo Abreu (2014) o RFID (Radio-Frequency Identification, em português Identificação de Rádio Frequência) é utilizada geralmente em identificação de produtos e rastreamento de inventário entre outros. Ele permite fazer a recuperação de dados

através de uma transmissão eletromagnética com algum circuito que tenha sido integrado a ele.

Abreu (2014) diz que essa tecnologia foi descoberta em 1935 por Robert Alexandre Watson-Watt, um físico que nasceu na Escócia em 1892. No início o RFID foi utilizado na segunda guerra mundial, em forma de radar para identificar aviões que estavam se aproximando a quilômetros de distância. O autor relata que Ele foi utilizado por alemães, japoneses e britânicos. No entanto, o radar somente conseguia identificar aeronaves, mas ainda assim não era possível saber se eram inimigos ou não. Então foram implantados transmissores nos aviões, para que quando fossem detectados pelo radar, pudessem ter um sinal diferente dos demais. Foi assim que foi criado o primeiro sistema de rádio frequência.

Segundo Abreu (2016) o RFID funciona com alguns componentes que incluem etiquetas que são afixados nas embalagens, leitores e a comunicação entre eles. O leitor de RFID lê os dados que são emitidos pelas etiquetas, elas devem estar na mesma frequência de rádio e protocolo para fazer a transmissão e recebimentos dos dados. Alguns itens contendo RFID estão sendo mostrados na Figura 10.

Dalfovo, Hostins (2010) relatam que as etiquetas podem ser caracterizadas como ativas e passivas, sendo que as etiquetas passivas trabalham sem baterias. Elas funcionam refletindo o sinal que foi transmitido pelo leitor adicionando informação, modulando o sinal que foi refletido. As etiquetas ativas são utilizadas para a substituição do código de barras tradicional. A diferença principal entre a ativa e passiva é o seu alcance. A passiva pode chegar a uma distância de 100 metros com uma velocidade de menos de 100 milissegundos.

A utilização desta tecnologia para localização *indoor*, é feita de forma mais trabalhosa, pois deve dispor etiquetas pelo ambiente a ser mapeado. As etiquetas distribuídas pelo ambiente estariam previamente cadastrada em um sistema, podendo identificar o seu local exato. Para localiza-se dentro do ambiente, teríamos que nos aproximarmos da etiqueta, fazer a leitura. Posteriormente um sistema faria a busca no banco de dados, para determinar a localização dentro do ambiente (Dalfovo, Hostins; 2010).

Figura 10: Itens contendo RFID



Dalfovo, Hostins (2010)

2.2.2.4 Comparativo entre as Tecnologias

Agora de forma resumida e simplificada, o trabalho apresentará uma comparação entre as tecnologias descritas anteriormente. Cada uma das tecnologias expostas tem suas particularidades, vantagens e desvantagens.

O Wi-Fi tem as taxas maiores que as outras, podendo chegar a velocidades bem grandes. No entanto, existe a necessidade de uma grande quantidade de energia. Sua topologia pode variar dependendo do meio, ou da escolha do gerente de redes. O ZigBee e o RFID na questão energética se destacam, devido ao seu baixo consumo energético, e podem trabalhar com uma autonomia bem grande. O RFID com sua topologia direta, é o que mais dificulta sua utilização, pois deve-se fazer a leitura da etiqueta uma de cada vez. As diferenças e semelhanças de cada tecnologia estão descritas na Figura 11.

Figura 11: Comparativo e características entre as Tecnologias WiFi, ZigBee e RFID



Padrão	IEEE 802.11 a/b/g/n/ac	IEEE 802.15.4	ISO 18000
Banda de Frequência	2.4 GHz	868/915 MHz e 2.4 GHz	125 KHz – 915 MHz e 2.4 GHz
Topologia de rede	Depende do meio	Todas	Direta
Velocidade de transmissão	10 – 105 Mbps	250 Kbps	384 Kbps
Alcance	10 – 110m	10 – 300m	10cm – 100m
Gasto Energético	Alta	Muito baixa	Muito baixa
Bateria	Depende do dispositivo	Alkaline (Meses – Anos)	Depende das etiquetas
Máximo de Nós	32	65 000	Ilimitado

Fonte: Abreu(2014)

2.3 Bluetooth

Segundo Billo (2003) o Bluetooth foi desenvolvido em 1994 pela empresa Ericsson, com o objetivo de fazer dispositivos se comunicarem sem a utilização de cabos. Para isso, a empresa desenvolveu uma comunicação com sinais de rádio que não fossem caros para este fim. A primeira criação de um produto foi chamada de Mclink, que tinha um curto alcance, utilizando baixa potência para não consumir tanta energia. O produto se tornou tão promissor que em 1997 atraiu a atenção de outras empresas para a comunicação sem fio. Billo (2003) relata que em 1998 foi criado o Bluetooth SIG (Special Interest Group), onde participaram grandes empresas como Intel, Ericsson, IBM, Toshiba e Nokia. Com todas estas empresas trabalhando juntas, a tecnologia se aperfeiçoou ao ponto de ser utilizada em vários aparelhos além de celulares.

2.3.1 Características

Reck (2016) afirma que a tecnologia Bluetooth evoluiu e se popularizou entre os mais diversos dispositivos do mercado. Atualmente ele trabalha em frequência não licenciada entre 2,4 GHz e 2,485 GHz, sendo que sua grande vantagem é de transmitir dados e voz, ambos simultaneamente. Para trabalhar em banda não licenciada, o Bluetooth utiliza-se de um recurso chamado AFH (Adaptive Frequency Hopping, em português Saltos Adaptativos de Frequência) que corresponde a ação de dar saltos adaptativos entre as frequências para a diminuição das interferências entre aparelhos que utilizam a faixa de 2.4 GHz.

Com a evolução dos dispositivos que continham o Bluetooth, algumas categorias foram criadas para atender as mais diversas funcionalidades. Cada categoria tem sua distância e a potência máxima descrita na Quadro 4.

Quadro 4: Alcance do Bluetooth por categoria

Classe	Potência máxima permitida	Alcance (aproximadamente)	Taxa de transferência
Classe 1	100mW(20dBm)	até 100 metros	721Kb/s
Classe 2	2.5mW(4dBm)	até 10 metros	3 Mb/s
Classe 3	1mW(0dBm)	~ 1 metro	24Mb/s

Fonte: Adaptado de Reck (2016)

Como pode-se ver na Tabela 4, o Bluetooth pode variar à distância de 1 até 100 metros, mas a quantidade de dados também variará. A classe 2, por alcançar uma distância de 10 metros e transferir dados a 3 Mb/s, se popularizou entre os dispositivos móveis, por abranger quase todas as funcionalidades disponíveis para estes aparelhos. As principais aplicações são conexões do *smartphones* com carro, conexões entre fones de ouvido, teclados e mouses, são algumas das aplicações possíveis e que já são uma realidade.

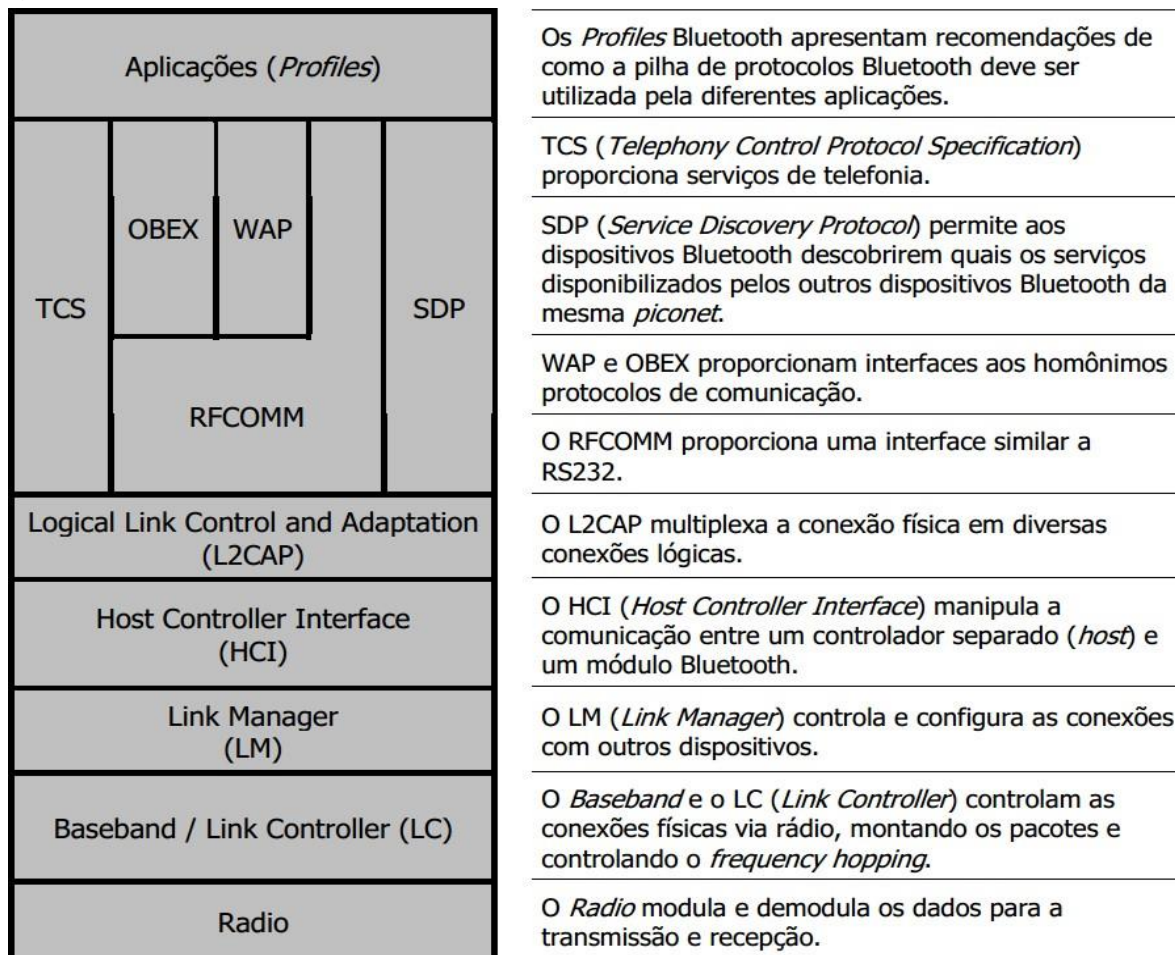
Um Bluetooth de classe 3 pode se conectar a um de classe 2 ou 1, no entanto eles conseguirão se comunicar somente se a distância do menor for respeitada. Isso significa que dispositivos que utilizam a classe 3 podem ser utilizados com classes inferiores sem problemas, contanto que suas limitações sejam respeitadas.

2.3.2 Protocolos

Para que o Bluetooth trabalhe com eficiência e interoperabilidade, existem protocolos e regras que os softwares que utilizam a tecnologia devem seguir. Os protocolos da tecnologia foram definidas pela SIG para prover uma padronização.

Billo (2003) diz que o Bluetooth possui uma pilha de protocolos com diversas camadas. O número de camadas utilizada por um software pode ser variável, dependendo do nível lógico que a aplicação desejar acessar. Os protocolos do Bluetooth estão definidos na Figura 12, com sua principal função.

Figura 12: Protocolos Bluetooth



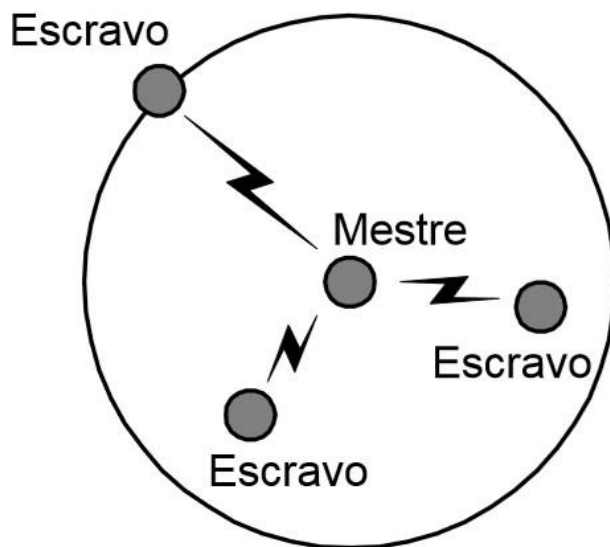
Fonte: Billo (2003)

2.3.3 Topologia

Martincoski (2003) esclarece que no Bluetooth quando dois ou mais dispositivos se conectarem, forma-se uma rede chamada de *Piconet*. Uma rede *Piconet* é onde cada

dispositivo funciona como um roteador, esse modelo também é conhecido como ad-hoc. Neste tipo de topologia, o dispositivo que iniciou a comunicação é chamado de *master* (mestre) e os que se conectarem no *master*, são denominados de *slave* (escravo). Uma rede *piconet* é capaz de suportar no máximo 8 dispositivos conectados, mas somente um deles pode assumir a função do *master*. Todos os dispositivos devem obedecer a uma mesma frequência que o mestre definiu no momento da comunicação. Na Figura 13 está a representação de uma rede *Piconet*.

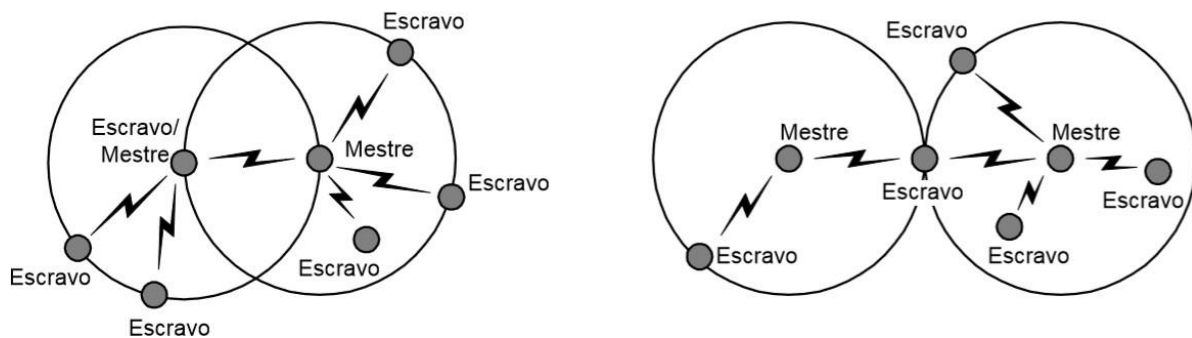
Figura 13: Redes piconet



1. Fonte: Martincoski (2003)

Em áreas onde a cobertura deve ser maior ou o número de dispositivos tem que ser maior que 8, cria-se uma rede chamada de *scatternet*. Uma rede *scatternet* nada mais é do que a junção de uma ou mais redes *piconet*. Essa conexão entre as duas redes é feita com um dispositivo que já se encontra nas duas *piconets* simultaneamente, onde é feita a divisão de tempo de operação entre elas. Esse dispositivo em especial pode trabalhar como *slave* nas duas redes, ou como *slave* em uma e *master* na outra, mas jamais poderá atuar como *master* nas duas redes ao mesmo tempo (Martincoski, 2003). Na Figura 14 está a representação de uma rede *scatternet*.

Figura 14: Redes scatternet



Fonte: Martincoski(2003)

2.3.4 Conexões Bluetooth

As conexões Bluetooth podem ser feitas de duas formas diferentes, elas podem ser assíncronas ou síncronas. Em ambos os casos, quem decide qual tipo será feito é sempre o *master*.

2.3.4.1 Conexões Assíncronas

Martincoski (2003) afirma que a conexão Bluetooth assíncrona é conhecida como ACL (Asynchronous Connection-Less, em português Conexão Assíncrona), sua principal função é assegurar a integridade dos dados que estão sendo transmitidos. São feitas verificações de erros e retransmissões de pacotes caso tenha ocorrido algum problema. Um dispositivo *master* pode fazer uma conexão ACL com vários *slaves*, no entanto o slave pode manter somente uma conexão ACL.

A transferência de dados é feita com troca de pacotes do tipo DH (Data High rate, em português Taxa de dados alta) ou DM (Data Medium Rate, em português Taxa Média de Dados). A quantidade de dados que os pacotes do DM é menor, mas ele contém mais proteção contra erros.

Os métodos para detectar possíveis erros são os FEC (Forward Error Correction) com codificação 2/3 e o CRC (Cyclic Redundancy Check, em português Verificação de Redundância Cíclica). O FEC é utilizado para fazer conferências e correção de pacotes. Ele adiciona um bit de paridade para conseguir detectar erros ocorridos durante a transmissão e corrigi-los. O CRC é utilizado para fazer a conferência da integridade dos dados que foram recebidos, mas ele não faz a correção dos erros encontrados. As informações estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1: Pacotes usados na conexão ACL

Tipo do Pacote	Capacidade máxima por pacote (bytes)	FEC (codificação para correção de erro)	CRC (Cyclic Redundancy Check)
DM1	17	2/3	SIM
DH1	27	NÃO USA	SIM
DM3	121	2/3	SIM
DH3	183	NÃO USA	SIM
DM5	224	2/3	SIM
DH5	339	NÃO USA	SIM

Fonte: Martincoski (2003)

2.3.4.2 Conexões Síncronas

Conforme o entendimento de Martincoski (2003) a conexão síncrona é conhecida como SCO (Synchronous Connection-Oriented, em português Conexões Síncronas), elas realizam transmissões regulares dos dados em uma taxa igual nos dois sentidos, sendo que os pacotes jamais são retransmitidos, ou seja, os dados transmitidos podem não estar íntegros. A conexão SCO pode ser estabelecida somente depois de uma conexão ACL já tenha sido estabelecida previamente, sendo que um dispositivo *master* pode conectar-se somente com três *slaves* simultaneamente. A principal aplicação para este tipo de conexão são dados de áudio, pois caso perca alguma informação no meio da transmissão, não há a necessidade de recuperá-lo.

2.3.5 Bluetooth Low Energy

Conforme Reck (2016), depois das 3 últimas versões, em 2009 foi lançado o Bluetooth 4.0 e uma variação da tecnologia chamada Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy). Nesta versão, seu grande diferencial é o baixo consumo de energia quando o dispositivo está ocioso. Uma característica do Bluetooth 4.0 é poder trabalhar com dispositivos que requerem mais atenção, pois ele engloba características da classe 3, sendo que a velocidade se manteve e se aumentou à distância de conexão.

Com o consumo abaixo das classes anteriores, esta nova versão foi projetada principalmente para que possa atender a Internet das Coisas (IoT – Internet of Things),

pois os dispositivos contêm pequenas células de energia e a eficiência sempre foi um ponto a se considerar.

Reck (2016) afirma que o Bluetooth Clássico e o BLE possuem diferenças e igualdades, devido ser uma tecnologia para funcionar no mundo todo, elas operam em uma frequência de rádio aceita em qualquer lugar. As duas trabalham em 2,4 GHz, no entanto utilizam diferentes conjuntos de canais, enquanto o BLE utiliza 40 canais de 2 MHz o Bluetooth clássico usa 79 canais de 1 MHz.

A principal vantagem do Bluetooth BLE como já mencionado é a economia de energia e uma das suas desvantagens está na distância. Enquanto as versões anteriores poderiam chegar até 100 Metros, agora pode-se chegar até no máximo a 50 metros. As suas diferenças e semelhanças estão descritas na Quadro 5.

Quadro 5: Bluetooth Clássico x Bluetooth Low Energy

Especificações Técnicas	Bluetooth Clássico	<i>Bluetooth Low Energy</i>
Distância/Alcance	100 m	50 m
Taxa de transmissão de dados	1 – 3 Mbit/s	1 Mbit/s
Capacidade de transmissão	0.7 – 2.1 Mbit/s	0.27 Mbit/s (305 kbit/s)
Escravos ativos	7	Não definido; varia de acordo com a aplicação
Segurança	56 até 128-bit	128-bit AES
Robustez	FHSS	FHSS
Latência (a partir de um estado não conectado)	Tipicamente 100 ms	6 ms
Tempo total para enviar dados (dependendo da vida útil da bateria)	100 ms	3 ms, menos de 3 ms
Topologia de rede	<i>Scatternet</i>	<i>Star-Bus</i>
Consumo de energia	1 como a referência	0.01 até 0.5 (de acordo com o uso em questão)
Consumo de corrente de pico	Menos do que 30 mA	Menos do que 20 mA

Fonte: Reck (2016)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentadas algumas soluções já existentes no mercado em localização *indoor*.

3.1 Proximi.io

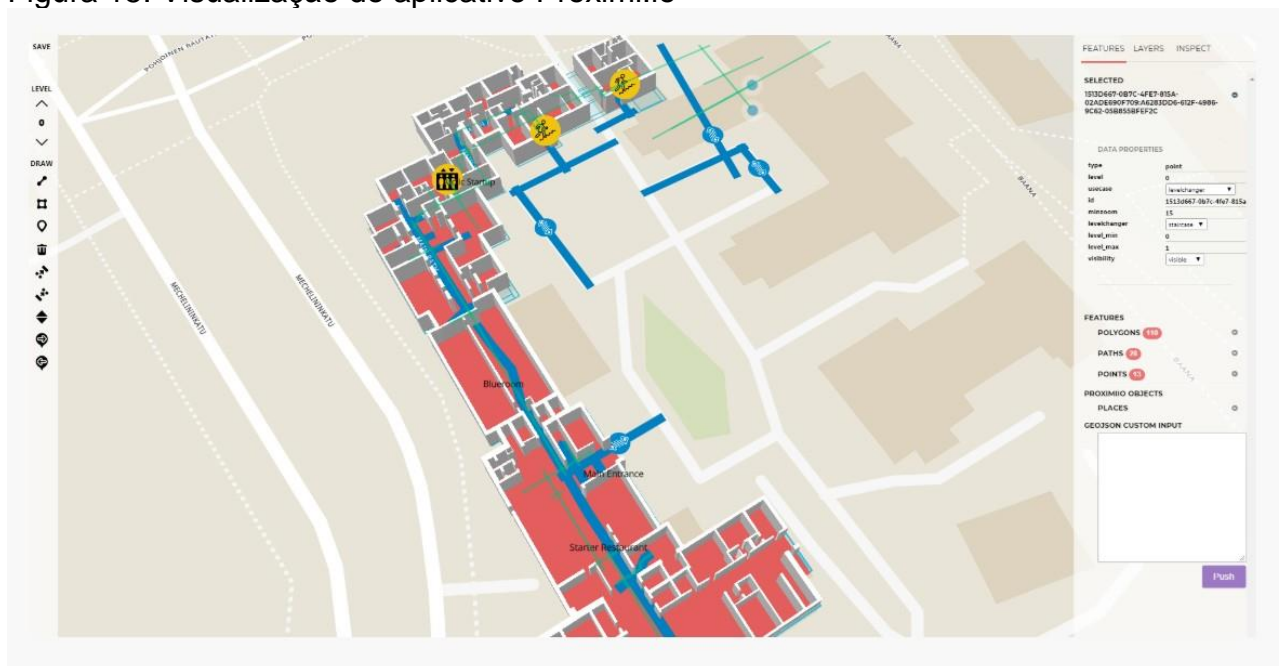
Segundo Koskiola (2017) o Proximi.io é um aplicativo para obter a localização em ambientes internos. A autora explica que para obter a orientação e localização este sistema utiliza *beacons*, que são os responsáveis por transmitir o sinal Bluetooth. Esses *beacons* são dispostos pelo ambiente e um *smartphone* que tenha o aplicativo cadastrado e configurado, poderá se localizar no ambiente.

Koskiola (2017) relata que existem duas abordagens associadas à navegação *indoor*. Uma delas é desenhar as paredes em uma visão completa do espaço, isso faz que o sistema se aproxime mais do mundo real. A outra abordagem relatada pela autora, fala que é desenhar os possíveis caminhos, neste caso, não se leva em consideração objetos que estejam no caminho. No entanto, esse método se mostra muito vantajoso devido ser extremamente rápido de configurar. Outro ponto positivo é que não requerer modelos prontos, ou da planta baixa do ambiente e a precisão neste método é aprimorada. É utilizado as técnicas de proximidade e triangulação, as duas trabalhando em conjunto para haver maior certeza da localização.

O Proximi.io é um sistema bem completo e extenso, pois agrega diversas funções como localização entre andares, localização tanto interna como externa e o

Analytics, que é uma ferramenta para analisar as rotas mais utilizadas. O Proximi.io também oferece uma SDK (Software Development Kit, em português Kit de desenvolvimento de software), assim desenvolvedores podem criar aplicativos utilizando a SDK e criando novos conteúdos (Koskiola, 2017). Na Figura 15 está um demonstrativo do aplicativo.

Figura 15: Visualização do aplicativo Proximi.io



Fonte: Koskiola (2017)

3.2 Access

Segundo Abreu (2014) o Access foi desenvolvido pela Universidade de Washington e tinha o objetivo de localização em espaços externos. A plataforma foi criada com o intuito de ajudar pessoas com deficiência cognitiva, auxiliando a chegar em determinados lugares. O Access acumula informações do usuário e verifica pontos de referência para utilizar como ponto de orientação. Os pontos de referência são fotos de lugares onde o usuário tem que passar para receber a próxima orientação.

A plataforma foi desenvolvida para funcionar em dispositivos móveis e ter baixa complexidade. O principal conceito é exibir imagens sobrepostas na interface, indicando o caminho a se seguir, com informações das direções. A Figura 16 mostra a interface utilizada nos dispositivos móveis. No entanto, a ferramenta é limitada na questão de flexibilidade, pois caso o usuário se perca do roteiro tradicional, a plataforma não auxiliará para que volte ao caminho correto (Abreu, 2014).

Figura 16: Exemplo da interface usada pelo Access



Fonte: Abreu (2014)

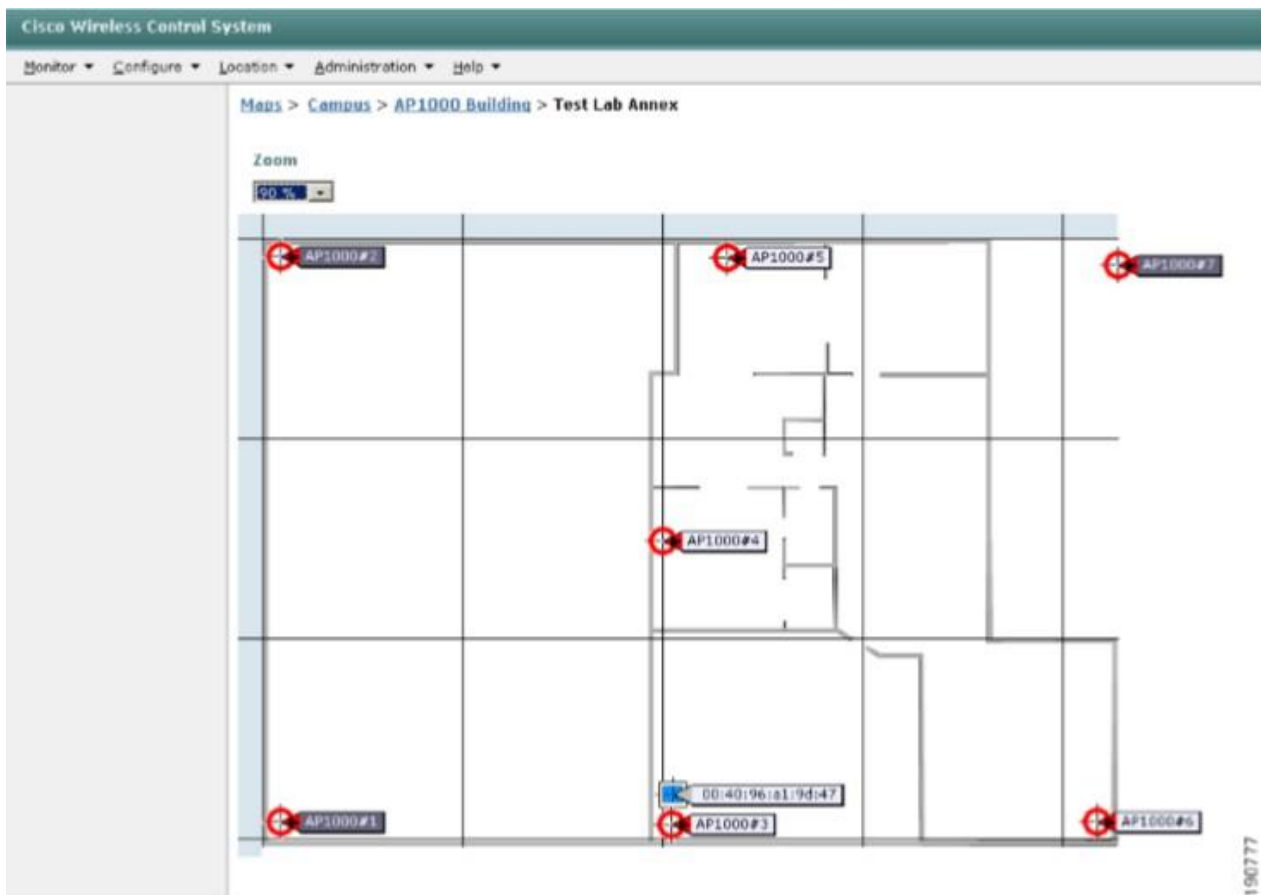
3.3 Cisco Wi-Fi Location Services

A Cisco desenvolveu um sistema de localização de dispositivos móveis em ambiente *indoor*, chamado Cisco Wi-Fi Location Services. O sistema utiliza equipamentos Wi-Fi que já se encontram na rede, e para calcular a posição do dispositivo ele faz a utilização de 5 técnicas distintas trabalhando em conjunto para a descoberta do posicionamento do dispositivo. As técnicas utilizadas são CoO (*Cell of Origin*), RSS (*Received Signal Strength*), ToA (*Time of Arrival*), TDoA (*Time Difference of Arrival*), AoA (*Angle of Arrival*) (Abreu, 2014).

O sistema é bem complexo e completo, já que não necessita de nenhuma instalação de software adicional nos dispositivos que estão sendo localizados. Mas para que o sistema funcione, algumas condições devem ser seguidas, como a infraestrutura deve ser toda da Cisco. Outro ponto negativo, é que o dispositivo pode ser localizado somente no computador que o software está instalado, sendo que o dispositivo não

consegue se localizar, somente ser localizado (Abreu, 2014). Na Figura 17 está um exemplo do software instalado no comutador, mostrando a interface da plataforma.

Figura 17: Interface do software da Cisco



Fonte: Abreu (2014)

4 METODOLOGIA

Apresenta-se neste capítulo os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, o tipo de pesquisa, bem como as ferramentas, componentes, aplicativos e o hardware para implementação da solução.

4.1 Tipo de Pesquisa

A metodologia de pesquisa deste trabalho enquanto seus procedimentos técnicos será a pesquisa bibliográfica e experimental. Gil (2008) destaca que a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de um material já elaborado, que é constituído principalmente de livros e artigos. Ele relata que a principal vantagem é poder investigar com maior cobertura fenômenos.

Marconi, Lakatos (2010), reforça que a pesquisa bibliográfica abrange uma bibliografia secundária que abrange revistas, boletins, jornais, pesquisas e até material oral como entrevistas e gravações de rádio. Eles reforçam que isto não é uma repetição do que já foi dito, mas sim, um novo enfoque ou abordagem que permitem conclusões inovadoras.

A pesquisa do presente trabalho também se caracteriza por experimental, Marconi, Lakatos (2018) relatam que a pesquisa experimental é o teste de hipóteses. Os testes experimentais incluem alguns fatores como seleção de amostra, manipulação de variáveis independentes e seleção de amostras por probabilidade, para ser controlado a maior quantidade de condições possível.

A pesquisa experimental segundo Marconi, Lakatos (2018), tem por objetivo geral fazer novas descobertas por meio da experiência. Os estudos experimentais podem ser desenvolvidos em ambiente natural, mas também podem feitos em laboratórios.

4.3 Materiais

O sistema foi desenvolvido com a utilização de alguns materiais essenciais que estão descritos nesta seção. O sistema é composto com 2 componentes essenciais, os transmissores e receptores. Para receptore, foi utilizado um *smartphones*, que receberá o sinal dos transmissores e posteriormente verificará a posição atual do dispositivo.

Para fazer a transmissão do sinal Bluetooth, utilizou-se o módulo NodeMCU ESP32. Ele é um módulo focado principalmente em robótica e automação, sendo voltado principalmente para IoT (Internet das coisas, em inglês Internet of Things). Segundo Aita (2017), o NodeMCU ESP32 é um microcontrolador que é utilizado em casos específicos, que não exijam grande quantidade de dados, pois estes dispositivos não contêm grandes quantidades de memória de armazenamento. Na Figura 18, está um exemplo do NodeMCU.

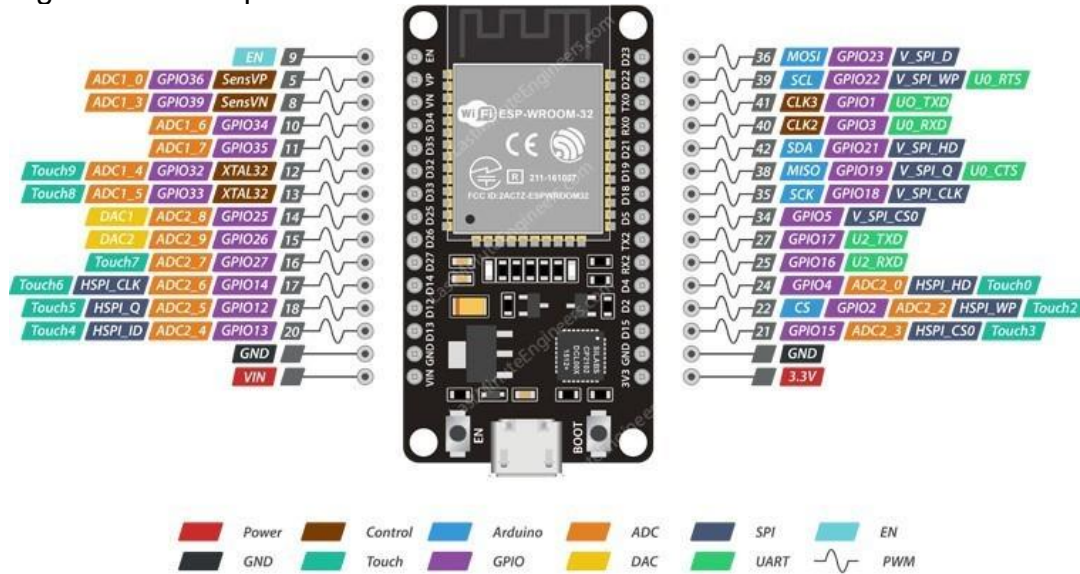
Aita (2017) diz que as principais vantagens do NodeMCU são:

- Ter um custo abaixo, sendo de fácil aquisição para desenvolvimento de novas aplicações.
- Suporte nativo a rede Wi-Fi 802.11 b/g/n
- Suporte nativo de Bluetooth 4.2, uma das suas últimas versões.
- Baixo consumo de energia, e com um alto desempenho.

As desvantagens que o NodeMCU ESP32, são:

- A necessidade de aprender uma nova linguagem de programação.
- Utilizar uma pinagem reduzida

Figura 18: Exemplo de NodeMCU ESP32



Fonte: Aita (2017)

5

DESCRITIVO DO SISTEMA

Neste capítulo será apresentada uma descrição da aplicação desenvolvida. O presente trabalho criou um aplicativo para *smartphones* para a localização em um ambiente *indoor*. Na seção 5.1 temos uma visão geral do que foi feito.

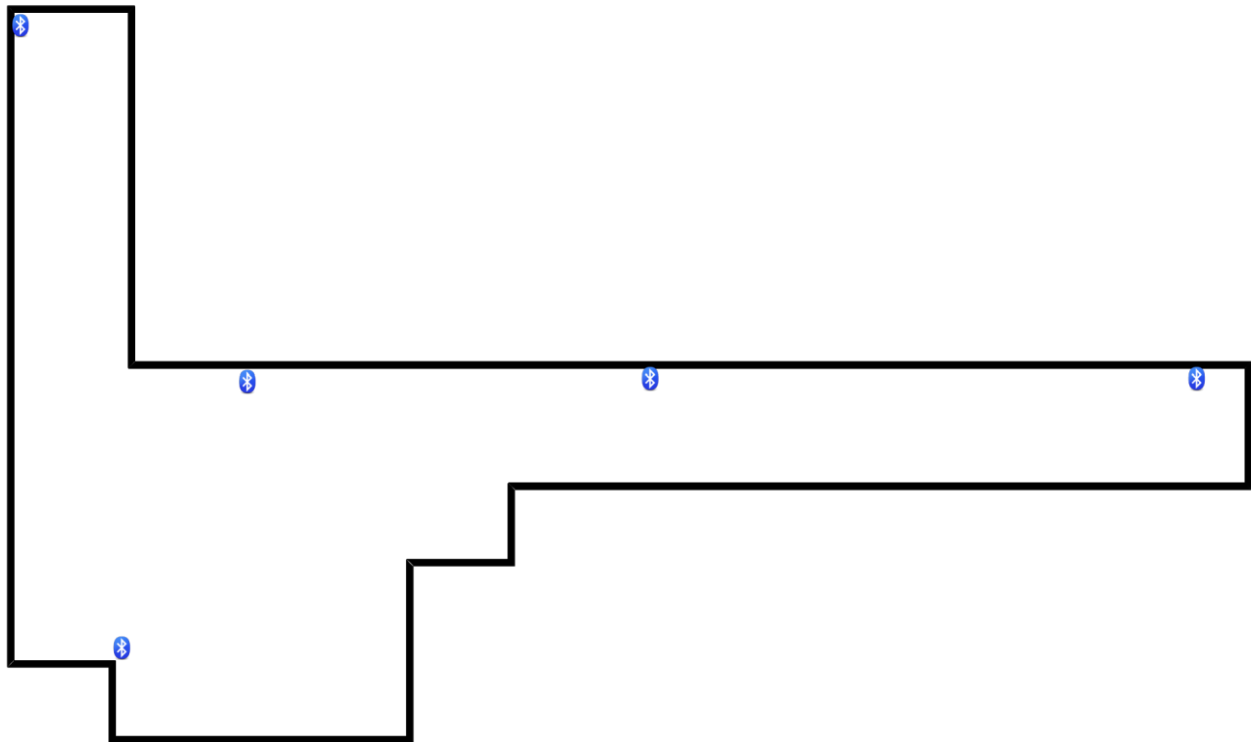
5.1 Visão geral

O aplicativo visa determinar a sua localização dentro de um ambiente interno em tempo real, sem a necessidade de conhecimento prévio do local. Emissores de sinal Bluetooth foram distribuídos e afixados no local, para que o dispositivo consiga captar o sinal e aplicar a técnica de Triangulação (latência). Em seguida o dispositivo mostra a posição estimada que foi calculada.

5.2 Ambiente

O ambiente escolhido para realização da validação do experimento foi um corredor do prédio 11 da Univates, a área total do local é aproximadamente 119 m² (metros quadrados). Na Figura 19 está o exemplo de como é o corredor e onde foram posicionados os emissores.

Figura 19: Ambiente



Fonte: Do Autor (2018)

5.3 Requisitos do sistema

O aplicativo Android foi desenvolvido para calcular a distância estimada do *smartphone* dentro do ambiente, no entanto ele necessita de 3 processos para que isso aconteça, são eles:

1. O Bluetooth do *smartphone* precisa estar ativado, para isso existe um botão para ligar e desligar o Bluetooth.
2. O Bluetooth necessita estar visível para que ele possa encontrar os emissores.
3. O *smartphone* após os passos anteriores precisa começar a procurar emissores, para que possa pegar a intensidade do sinal e fazer os cálculos necessários.
4. Para fazer o cálculo, o *smartphone* necessita de 3 emissores ao seu alcance.
5. O dispositivo deve estar a uma distância entre 12 a 14 metros dos emissores para conseguir captar o sinal.

5.4 Emissores

Para a emissão do sinal foram utilizados cinco módulos NodeMCU ESP32, eles já contemplam o Bluetooth instalado na placa, não sendo preciso instalar qualquer tipo de modulo extra. Na Figura 20, aparecem os cinco emissores utilizados para fazer o experimento.

Figura 20: Emissores Utilizados



Fonte: Do Autor (2018)

Para que os nodes emitissem o sinal Bluetooth pelo ambiente, a configuração utilizada foi retirada da Espressif, que é a fabricante destes equipamentos. O exemplo que se utilizou foi o “BLE_server”. O código cria um servidor localmente, assim, possibilitando

que outros equipamentos possam enxergá-lo. Algumas informações como o UUID (Universally Unique Identifier) e o nome do dispositivo são colocados junto em sua programação. O UUID é de extrema importância, pois posteriormente na aplicação do *smartphone* esse parâmetro é utilizado para saber de quem está vindo o sinal, e sendo assim, saber a sua posição do emissor no ambiente. Na Figura 21 está um demonstrativo do código utilizado, o UUID utilizado foi “4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b” e o nome “Beacon1”. Para cada emissor o UUID e o nome eram diferentes, para que pudesse ser diferenciado na aplicação.

Figura 21: Código utilizado nos Nodes

```
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEServer.h>

// See the following for generating UUIDs:
// https://www.uuidgenerator.net/

#define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
#define CHARACTERISTIC_UUID   "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("Starting BLE work!");

  BLEDevice::init("Beacon1");
  BLEServer *pServer = BLEDevice::createServer();
  BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);
  BLECharacteristic *pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
    CHARACTERISTIC_UUID,
    BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
    BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
  );

  pCharacteristic->setValue("Hello World says Neil");
  pService->start();
  BLEAdvertising *pAdvertising = pServer->getAdvertising();
  pAdvertising->start();
  Serial.println("Characteristic defined! Now you can read it in your phone!");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  delay(2000);
}
```

Fonte: Do Autor (2018)

5.5 Aplicativo Android

Como mencionado na seção 5.3, existem 3 requisitos que foram seguidos para o desenvolvimento do aplicativo, sendo eles o do Bluetooth estar ativo, o Bluetooth estar visível e posteriormente a descoberta dos emissores, obtendo a intensidade do sinal de cada um. Seguindo os requisitos, a interface do aplicativo foi desenvolvida com 3 botões na parte superior do aplicativo, para ligar e desligar o Bluetooth do dispositivo, habilitar a

visibilidade do dispositivo e a descoberta dos emissores. Após a descoberta de 3 emissores e fazer os cálculos o resultado é mostrado no centro da tela, informando a posição estimada do dispositivo, como mostra a Figura 22.

Figura 22: Tela do Aplicativo



Fonte: Do Autor (2018)

Para que a posição pudesse ser estimada foi utilizada a técnica de triangulação, onde foi necessário ter cobertura de 3 emissores. Se tiver menos que isso a técnica não consegue estimar a posição pois geram pontos imprecisos. Após a detecção de 3 emissores, o primeiro passo é determinar a distância de cada um deles. A fórmula utilizada neste caso foi:

$$D = A * (r / t) ^ B + C$$

- D = Distância estimada
- r = É a medida do RSSI medido do dispositivo

- t = É a medida de referência à 1 metro do emissor
- A, B, C = São constantes da fórmula e dependem diretamente da medida de 1 metro como referência

Para a obtenção das constantes da fórmula, foram feitas as medidas do RSSI nas distâncias de 0,25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 metros, a medida do RSSI de referência que foi obtido a um metro foi de -64db. De posse dos valores das distâncias e seus respectivos RSSI, coloca-se em uma coluna os valores do sinal medido no *smartphone*, dividido pelo sinal base medido a 1 metro de distância. Na outra coluna temos os valores das distâncias de 0,25 até 12 metros. Para a determinação de A e B se faz uma relação entre as duas colunas utilizando a técnica de regressão que permite explorar a relação entre as duas colunas. Esse processo se denomina regressão de potência.

Os valores de A e B obtidos foram 0,7945250143 e 7,171541075 respectivamente. Agora com as duas constantes iniciais já foi possível obter a distância estimada, e para obter a constante C, o valor da distância real medido a um metro foi subtraído da distância estimada também a um metro, o resultado obtido foi 0,2054749857. O método que é executado dentro da aplicação ficou ilustrado na Figura 23.

Figura 23: Método da distância

```
public static double distancia(double rssi){
    double sinal = -64.0;
    double distancia = 0;
    double a = 0.7945250143;
    double b = 7.171541075;
    double c = 0.2054749857;
    double ratio = 0;

    ratio = rssi/sinal;

    distancia = a * (Math.pow(ratio,b)) + c;

    return distancia;
}
```

Fonte: Do Autor (2018)

Com a distância estimada de cada emissor, é possível aplicar o método da triangulação. O este método necessita receber a informação de onde o emissor está localizado, então é passado uma posição x e y da posição de cada um deles, juntamente a distância que o *smartphone* estava do emissor. O método que faz a triangulação dentro do aplicativo e retorna a posição estimada final, está ilustrado na Figura 24 e 25.

Figura 24: Primeira parte do método de obtenção da localização

```
public static Ponto ObterLocalização(
    Ponto ponto1, double distance1,
    Ponto ponto2, double distance2,
    Ponto ponto3, double distance3){

    Ponto retorno = new Ponto();
    double[] P1 = new double[2];
    double[] P2 = new double[2];
    double[] P3 = new double[2];
    double[] ex = new double[2];
    double[] ey = new double[2];
    double[] p3pl = new double[2];
    double jval = 0;
    double temp = 0;
    double ival = 0;
    double p3pli = 0;
    double triptx;
    double xval;
    double yval;
    double t1;
    double t2;
    double t3;
    double t;
    double exx;
    double d;
    double eyy;

    P1[0] = ponto1.getX();
    P1[1] = ponto1.getY();

    P2[0] = ponto2.getX();
    P2[1] = ponto2.getY();

    P3[0] = ponto3.getX();
    P3[1] = ponto3.getY();

    for (int i = 0; i < P1.length; i++) {
        t1 = P2[i];
        t2 = P1[i];
        t = t1 - t2;
        temp += (t*t);
    }
    d = Math.sqrt(temp);
    for (int i = 0; i < P1.length; i++) {
        t1 = P2[i];
        t2 = P1[i];
        exx = (t1 - t2) / (Math.sqrt(temp));
        ex[i] = exx;
    }
}
```

Fonte: Do Autor (2018)

Figura 25: Segunda parte do método de obtenção da localização

```

    for (int i = 0; i < P3.length; i++) {
        t1 = P3[i];
        t2 = P1[i];
        t3 = t1 - t2;
        p3pl[i] = t3;
    }
    for (int i = 0; i < ex.length; i++) {
        t1 = ex[i];
        t2 = p3pl[i];
        ival += (t1*t2);
    }
    for (int i = 0; i < P3.length; i++) {
        t1 = P3[i];
        t2 = P1[i];
        t3 = ex[i] * ival;
        t = t1 - t2 - t3;
        p3pli += (t*t);
    }
    for (int i = 0; i < P3.length; i++) {
        t1 = P3[i];
        t2 = P1[i];
        t3 = ex[i] * ival;
        eyy = (t1 - t2 - t3)/Math.sqrt(p3pli);
        ey[i] = eyy;
    }
    for (int i = 0; i < ey.length; i++) {
        t1 = ey[i];
        t2 = p3pl[i];
        jval += (t1*t2);
    }
    xval = (Math.pow(distance1, 2) - Math.pow(distance2, 2) + Math.pow(d, 2))/(2*d);
    yval = ((Math.pow(distance1, 2) - Math.pow(distance3, 2) + Math.pow(ival, 2) + Math.pow(jval, 2))/(2*jval)) - ((ival/jval)*xval);

    t1 = pontol.getX();

    t2 = ex[0] * xval;
    t3 = ey[0] * yval;
    triptx = t1 + t2 + t3;
    retorno.setX(triptx);

    t1 = pontol.getY();
    t2 = ex[1] * xval;
    t3 = ey[1] * yval;
    triptx = t1 + t2 + t3;
    retorno.setY(triptx);

    return retorno;
}

```

Fonte: Do Autor (2018)

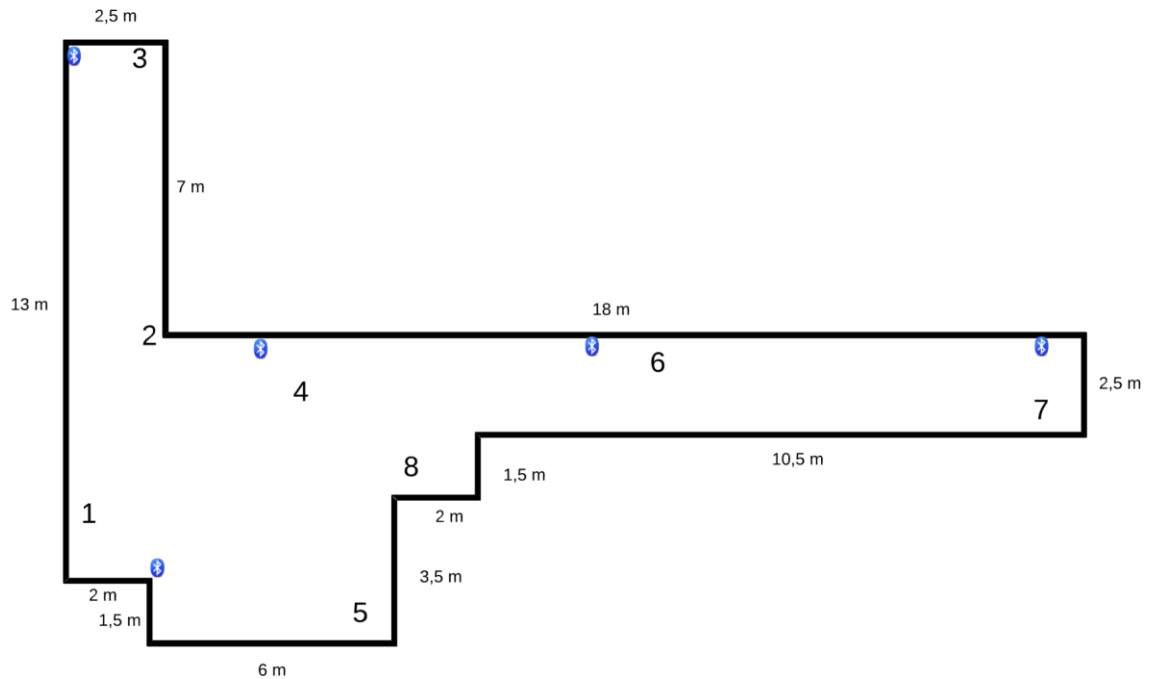
O método recebe e devolve uma classe chamada Ponto, onde há as coordenadas X, Y e distância.

5.6 Testes

Os testes foram realizados no quarto andar do prédio 11 da Univates. Para a realização dos testes, foram testados em 8 pontos diferentes do ambiente e para cada

teste foram feitas 3 tentativas. A posição certa onde foram realizados os testes estão ilustrados na Figura 26.

Figura 26: Posição dos testes



Fonte: Do Autor (2018)

Para cada ponto foram feitas 3 tentativas onde foram obtidos diferentes resultados de localização. Para saber o quão preciso foi o sistema, calculou-se o erro que ocorreu em cada uma das tentativas, então em uma coluna está o erro obtido no eixo X e outra coluna está o erro obtido no eixo Y. O erro calculado é em relação a posição real, e os dados podem ser conferidos em metros na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados dos Pontos

Ponto	Tentativa	Distância Real X	Distância Real Y	Distância estimada X	Distância estimada Y	Erro em X	Erro em Y
1	1	1	4	1,54	5,3	0,54	1,3
1	2	1	4	1,7	4,3	0,7	0,3
1	3	1	4	0,9	4,5	-0,1	0,5
2	1	2,5	6	3,1	5,4	0,6	-0,6
2	2	2,5	6	2,3	5,2	-0,2	-0,8
2	3	2,5	6	2	6,5	-0,5	0,5
3	1	2,5	13	2,3	10	-0,2	-3
3	2	2,5	13	2	12,3	-0,5	-0,7
3	3	2,5	13	3,5	11,5	1	-1,5
4	1	6	5	6,8	5,3	0,8	0,3
4	2	6	5	5,6	4,5	-0,4	-0,5
4	3	6	5	6,3	4	0,3	-1
5	1	6	1	5,3	1,5	-0,7	0,5
5	2	6	1	5	1,6	-1	0,6
5	3	6	1	4,7	0,6	-1,3	-0,4
6	1	15	6	13	5	-2	-1
6	2	15	6	12,7	6,8	-2,3	0,8
6	3	15	6	14,5	4,3	-0,5	-1,7
7	1	22	4,5	25	6	3	1,5
7	2	22	4,5	24,3	5	2,3	0,5
7	3	22	4,5	20	3,9	-2	-0,6
8	1	8,5	3,5	8	4	-0,5	0,5
8	2	8,5	3,5	7,5	3	-1	-0,5
8	3	8,5	3,5	8,9	2,7	0,4	-0,8

Fonte: Do Autor (2018)

Os resultados encontrados nos pontos 1, 2, 4, 5 e 8 foram mais satisfatórios, pois eles contêm uma baixa taxa de erro variando um metro para mais ou para menos. Esses resultados foram obtidos pois os pontos estão localizados em um local mais central, onde o *smartphone* fica no centro, sendo assim, mais fácil de ter uma medida precisa e de fazer do cálculo de triangulação corretamente.

O resultado do ponto 3 teve uma margem de erro maior em relação aos pontos anteriores, onde ela chegou a variar até três metros de distância em uma das tentativas, mas nas outras tentativas acabou ficando um pouco acima de um metro de erro. Essa

variação deve-se ao fato de este ponto estar em uma das extremidades do corredor, onde não é possível que o *smartphone* fique cercado por emissores.

Já os pontos 6 e 7 tiveram os piores resultados, podendo variar de dois a três metros para mais ou para menos. Esses pontos ficam com a margem de erro maior pois estão no corredor e não conseguem estar cercado pelos emissores.

Analisando os dados obtidos, percebe-se que quanto mais cercado estiver de emissores e mais perto eles estiverem, maior é a precisão, Isso ocorre por dois motivos. O primeiro é que o RSSI obtido é mais intenso e varia menos quanto mais perto do emissor ele se encontrar. Essa característica garante que quanto mais perto dos emissores melhores e mais confiáveis serão os dados. O segundo motivo é o método da triangulação, para que ele funcione melhor, quanto mais espalhados em relação ao *smartphone* eles estiverem melhor.

Os resultados não são mais expressivos pois existem algumas características que influenciam diretamente no resultado e na confiabilidade dos dados, mas a principal certamente é a interferência, que influencia na captação do sinal, gerando ruído na hora da leitura. Outro ponto a se considerar é o ambiente, onde há muitas paredes e que os emissores não ficam totalmente à vista por estarem em um corredor diferente, o sinal também é afetado. Por esse motivo os emissores ficaram na posição vertical, pois o componente responsável por emitir o sinal Bluetooth fica na parte de cima do emissor. Então quando colocado na posição vertical, o sinal mais intenso se espalha pelo ambiente, se ficasse na posição horizontal ele emitiria sinal mais intensamente para o teto.

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A localização *indoor* é uma área que vem sendo estudada e aperfeiçoada nos últimos anos, e se mostra uma tecnologia que estará cada vez mais presente no dia a dia. A quantidade de aplicações que pode ser desenvolvida neste setor ainda é bastante grande devido a sua versatilidade.

Esse trabalho apresentou algumas técnicas para a localização *indoor*, mas a escolhida para ser implementada foi a triangulação. Essa técnica se destaca pela sua precisão, pois nos testes realizados foi possível obter precisões que variavam de um a três metros. Outras abordagens também poderiam ser aplicadas dependendo de cada situação.

O trabalho tinha como objetivo principal, desenvolver uma aplicação de custo acessível, para a localização em ambientes internos. Outros propósitos eram montar o hardware para fazer a emissão do Bluetooth, documentar técnicas e testar a solução em laboratórios. Todos esses objetivos foram cumpridos com êxito no decorrer da atividade.

Para trabalhos futuros e o aprimoramento da aplicação, seria interessante a adição de uma ou mais técnicas de localização ao aplicativo, para que haja mais precisão. Para aumentar a confiabilidade dos dados poderiam ser utilizados outros sinais, como por exemplo a rede wireless. Todas essas técnicas e adição de elementos, poderiam melhorar ainda mais a precisão e a confiabilidade dos dados obtidos.

REFERÊNCIAS

ABREU, Rafael Fernando Pereira – **Localização Indoor em Ambientes Inteligentes** – Universidade do Minho, 2014

AITA, Ricardo Hahn – **Sistema de irrigação localizada e automatizada**, Pontifícia Universidade católica do Rio Grande do Sul, 2017

BILLO, Eduardo Afonso – **Uma pilha de protocolos Bluetooth adaptável a aplicação** – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003

DALFOVO, Oscar; Hostins, Clovis Anderson – **Delineamento para aplicação do RFID na logística de supermercado como inteligência competitiva : Supermercado Hostins**, 2010

FARID, Zahid; NORDIN, Rosdiadee; Ismail, Mohamod – **Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System**, 2013.

FILHO, Francisco Lopes Daniel – **Uma API para detecção de presença de dispositivos móveis em ambientes Indoor** – Universidade Federal Do Ceará, 2016

GIL, Antonio Carlos - **Métodos e técnicas de pesquisa social** – 6 ed São Paulo: atlas 2008

GU, Yanying; LO, Anthony; NIEMEGEERS, Ignas – **A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks**, 2009

HIGHTOWER, Jeffrey; BORRIELLO, Gaetano – **Location Sensing Techniques** – University of Washington, 2001

JUNIOR, Valmir Antonio Schneider; ANDREÃO, Rodrigo Varejão; NUNES, Reginaldo Barbosa – **Sistema de localização para ambientes fechados baseado na intensidade de sinal recebido em rede ZigBee** – Universidade Federal do Espírito Santo, 2011

KOSKIOLA, Annina; Indoor Navigation in Complex buildings – exclusive sneak peek. **proximi.io**, 2017. Disponível em: <<https://proximi.io/indoor-navigation-complex-buildings/>>. Acesso em: 29 maio 2018

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade - **Fundamentos de metodologia científica** – 7 ed São Paulo: atlas 2010

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade – **Técnicas de Pesquisa**– 8 ed São Paulo: atlas 2018

MARTINCOSKI, Daniel Henrique – **Sistema para telemetria de eletrocardiograma utilizando tecnologia Bluetooth** – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003

MOURA, André Iasi – **WBLS: Um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi**, Universidade de São Paulo, 2007

RECK, Arcelo Sala - **Beacons BLE – BLUETOOTH LOW ENERGY – Design e análise de um sistema de localização indoor** UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL, 2016

SOARES, Fábio Miguel Ramos – **Localização baseada em medidas de distância para sistemas interiores de larga escala**, Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, 2015